Università degli Studi di Palermo

dipartimento di ingegneria unipa

Introduzione ai Calcolatori

CALCOLATORI ELETTRONICI – FONDAMENTI DI PROGRAMMAZIONE

a.a. 2024/2025

Prof. Roberto Pirrone

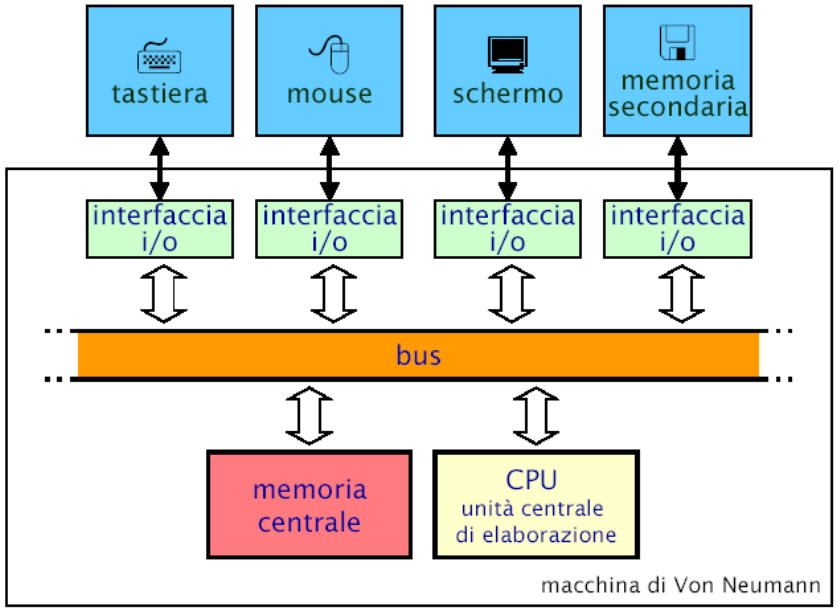
CHILAB

Sommario

- Architettura del Calcolatore
- Sistemi Operativi
- Linguaggi di Programmazione
- Traduzione dei programmi

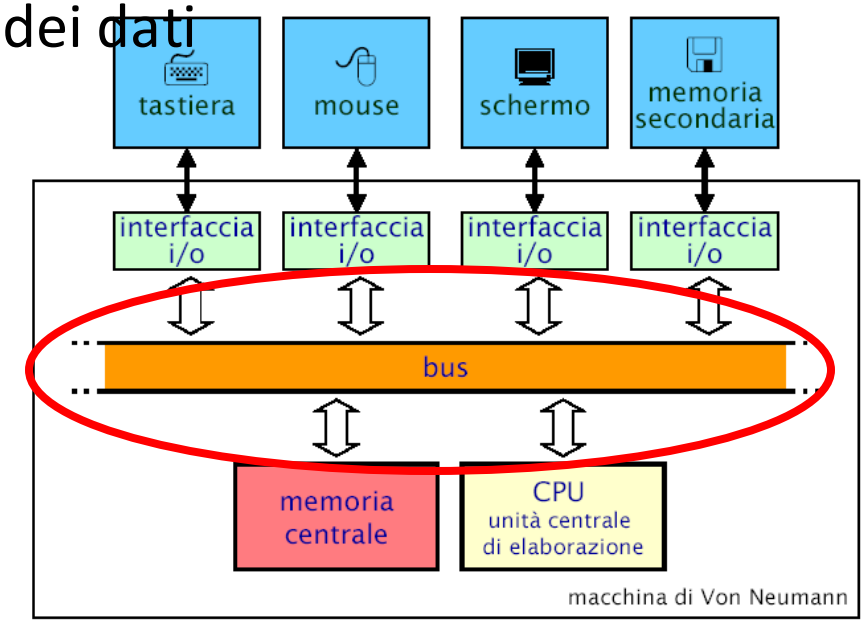
Architettura del Calcolatore

- Architettura a “programma memorizzato”
  - Dati e istruzioni dei programmi vanno opportunamente codificati come bit e **memorizzati** nello stesso luogo
  - Detta anche “Macchina” di Von Neumann che realizzò così il primo calcolatore elettronico secondo questo paradigma



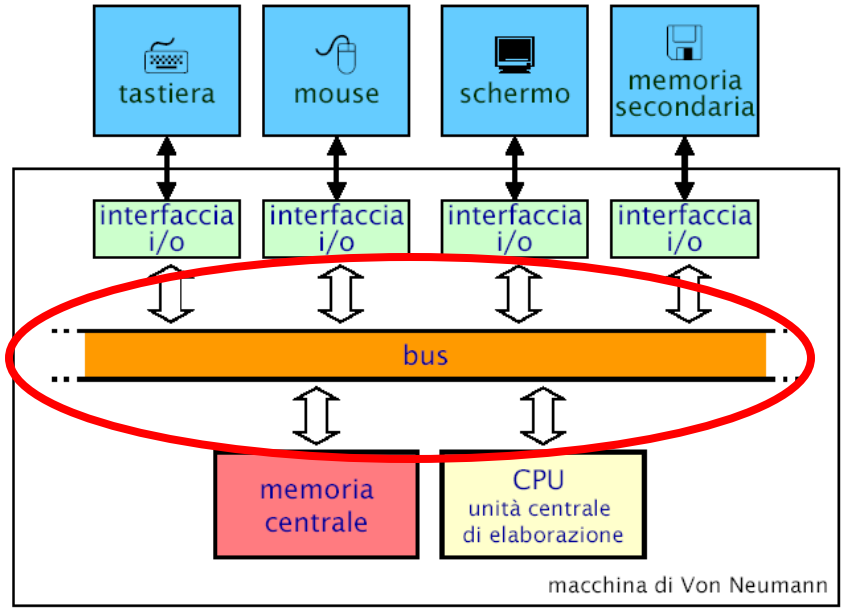
Architettura del Calcolatore

- Bus di sistema
  - Interconnette le componenti interne del calcolatore
  - Collega due unità funzionali alla volta
    - una trasmette e l'altra riceve: funzionamento *master/slave*
    - la CPU (master) seleziona la connessione da attivare e ordina il trasferimento dei dati



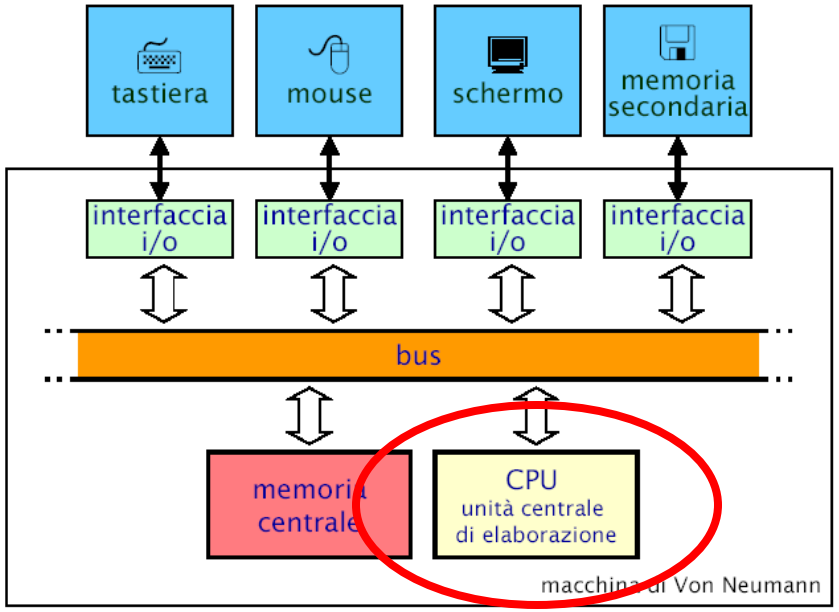
Architettura del Calcolatore

- Bus di sistema
  - Distinguiamo funzionalmente tre bus
    - *BUS DATI (per istruzioni e dati dei programmi)*
    - *BUS INDIRIZZI (per accedere alle celle di memoria)*
    - *BUS CONTROLLI (per trasmettere i comandi)*



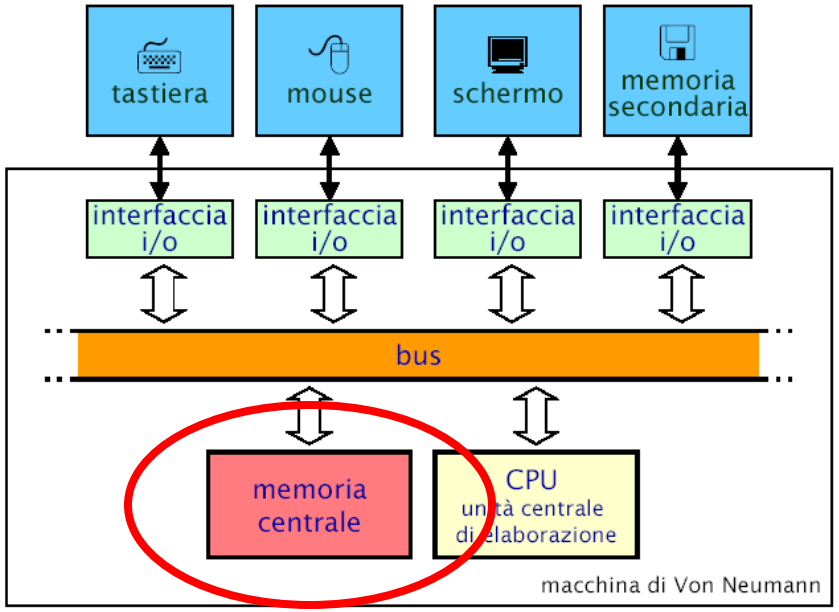
Architettura del Calcolatore

- CPU (Central Processing Unit), o Processore
  - Svolge le elaborazioni e il trasferimento dei dati, cioè esegue i programmi.
  - Svolge anche le funzioni di controllo dell'esecuzione
  - Ogni istruzione viene processata allo stesso modo, secondo il **ciclo-macchina**: prelevamento → decodifica → esecuzione



Architettura del Calcolatore

- Memoria centrale
  - RAM (Random Access Memory) è volatile (perde il suo contenuto quando si spegne il calcolatore) ed è usata per memorizzare dati e programmi.
  - E' organizzata in locazioni, le unità minime indirizzabili, ciascuna accessibile tramite un indirizzo



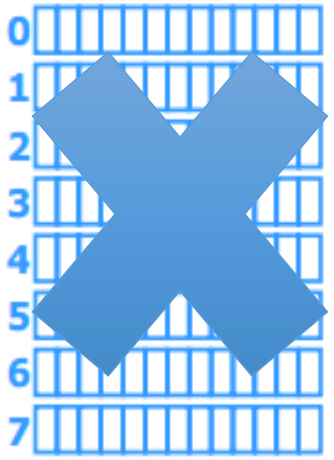
Architettura del Calcolatore

Cella: l'unità minima della memoria destinata a memorizzare 1 bit (un flip-flop)

Quante celle per locazione?

Come organizzo
96 celle?

6*16 bit=96



8*12 bit=96

12*8 bit=96

Locazioni da 1 byte!!

Architettura del Calcolatore

Organizzazione della memoria

- Le locazioni si organizzano ulteriormente in *parole* da 2, 4 o 8 byte ciascuna

- *Parola*: blocco di byte

  che l'hardware (CPU)
  può elaborare,
  trasmettere, conservare tutto

  insieme

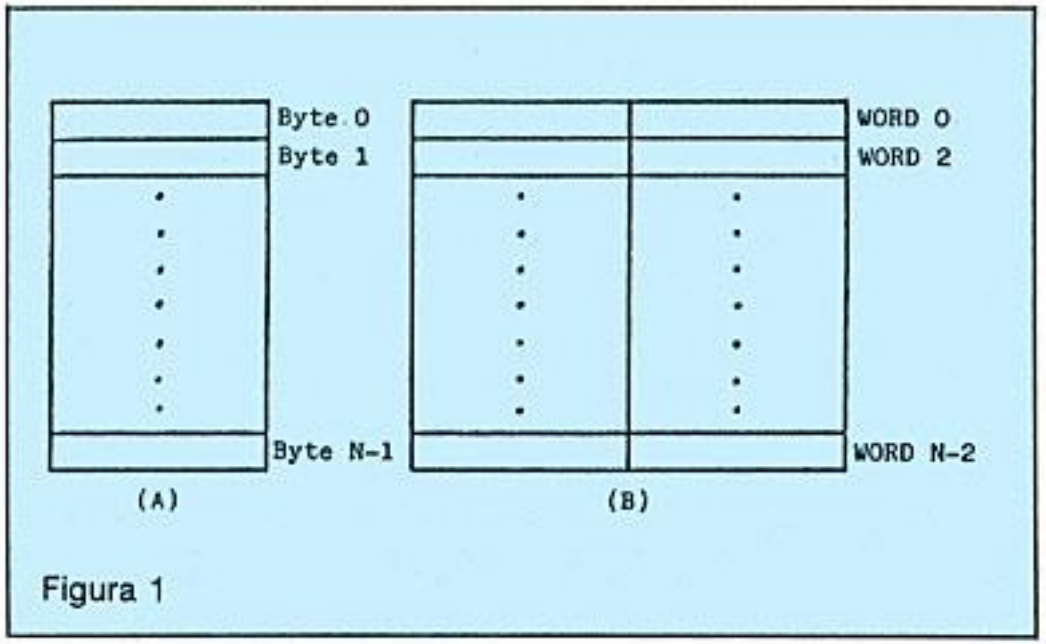
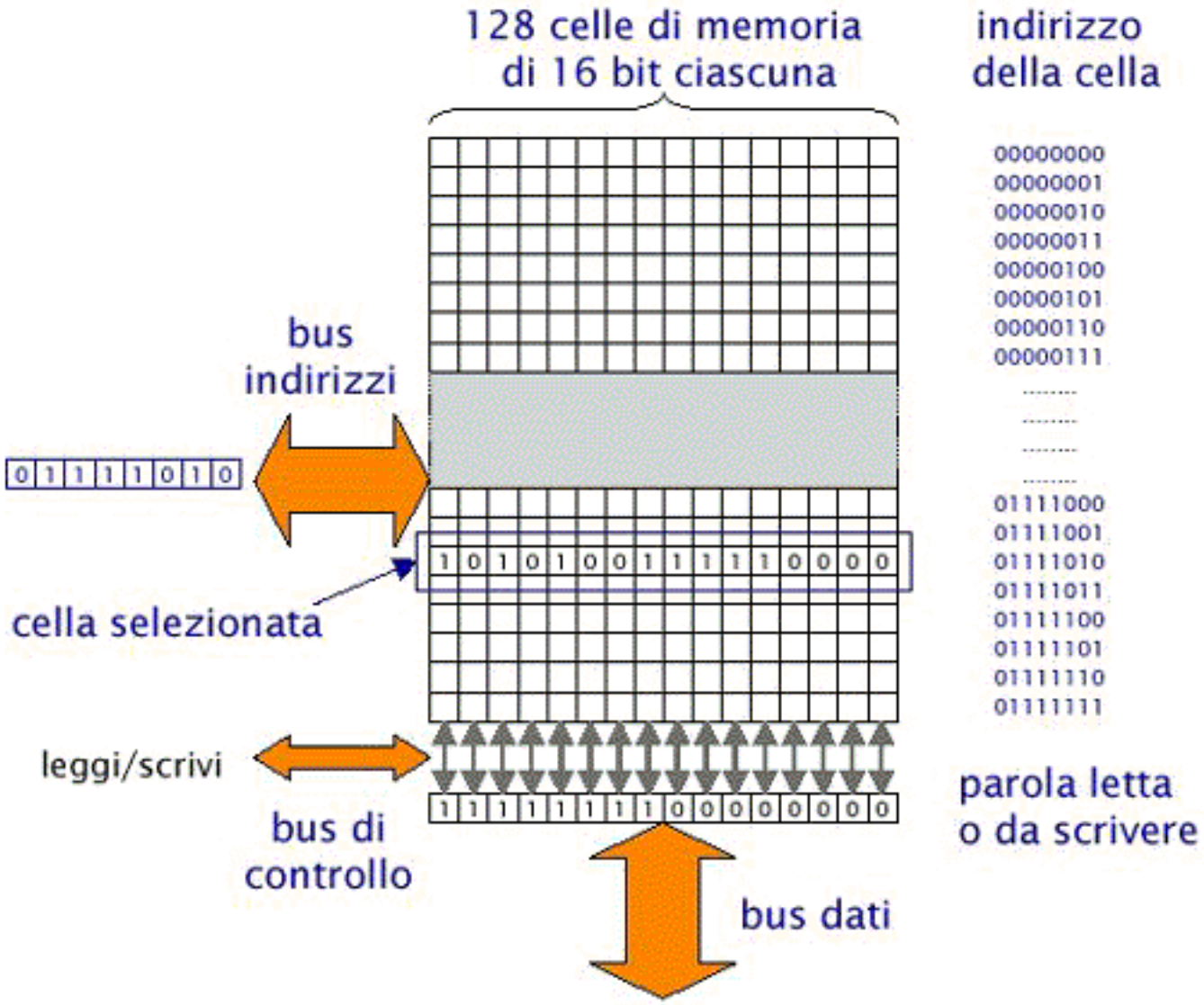


Figura 1 - Memoria organizzata a Byte (A) e a word di due Byte l'una (B).

Architettura del Calcolatore

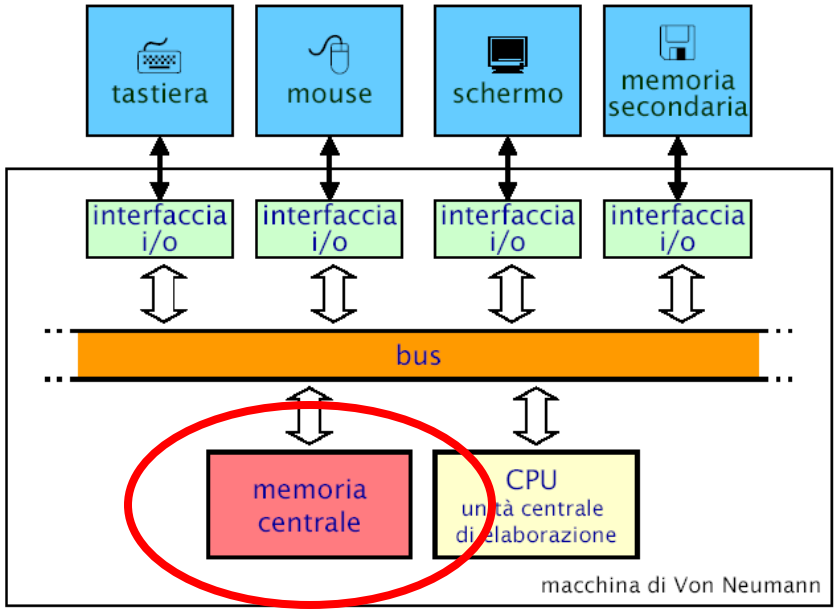
- Anche gli indirizzi della memoria sono rappresentati come numeri binari:
  - un indirizzo di M bit consente di indirizzare 2^M celle;
  - il numero di bit nell'indirizzo determina lo *spazio di indirizzamento*
    - il numero massimo di locazioni indirizzabili nella memoria
  - Quant'è lo spazio di indirizzamento di un calcolatore a 64 bit?

Architettura del Calcolatore



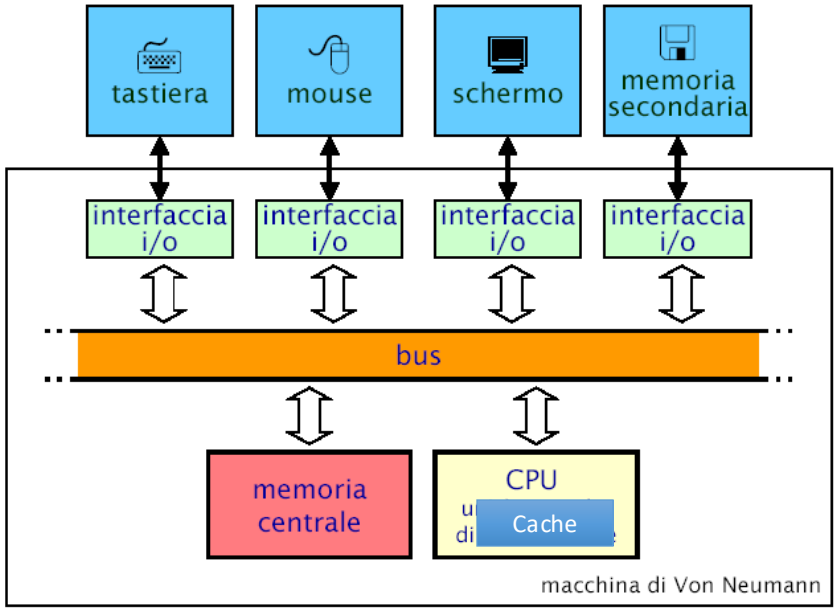
Architettura del Calcolatore

- Altre componenti della memoria centrale
  - *ROM (Read Only Memory)* è persistente (mantiene il suo contenuto quando si spegne il calcolatore) ma il suo contenuto è fisso e immutabile. È usata per memorizzare programmi di sistema



Architettura del Calcolatore

- Altre componenti della memoria centrale
  - *Cache* - Memoria di appoggio del processore, velocissima
    - Dimensioni relativamente limitate
    - Accesso estremamente rapido



Architettura del Calcolatore

- Memoria Cache

- Principio di località:
  - Quando il processore utilizza un'istruzione o dato è molto probabile che usi anche quelli ad esso vicini nella memoria (località spaziale).

  - Quando il processore utilizza un'istruzione o dato è molto probabile che lo usi di nuovo in breve tempo (località temporale).

Architettura del Calcolatore

- Memoria Cache

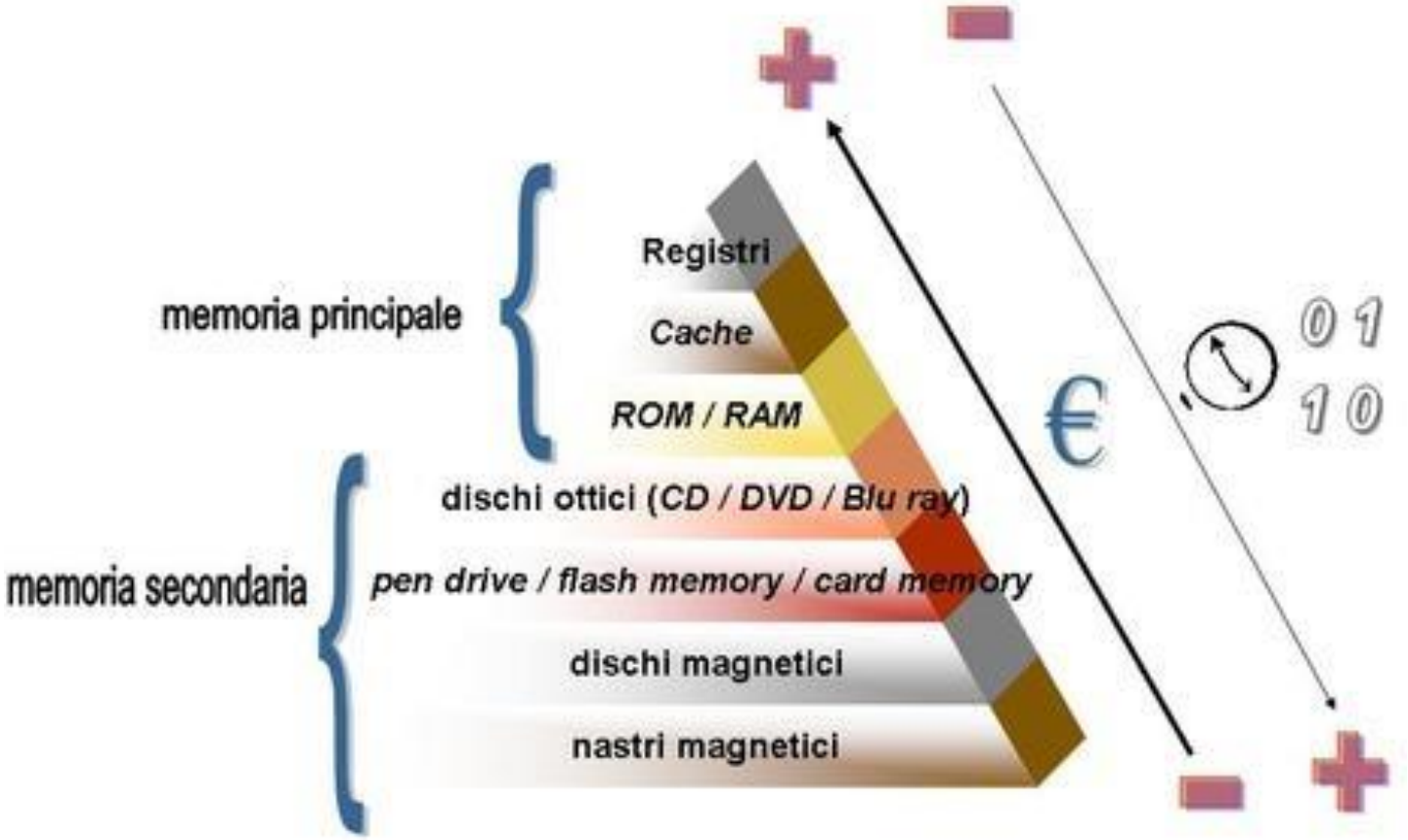
- Il principio di località ispira il funzionamento della cache
  - Se viene richiesto un dato/istruzione viene prelevato il blocco di dati/istruzioni immediatamente vicini
  - Essi verranno conservati per un certo tempo e poi scartati se non più utilizzati.

Architettura del Calcolatore

- La soluzione ottimale per un sistema di memoria è:
  - Costo minimo
  - Capacità massima
  - Tempi di accesso minimi

- Soluzione approssimata: GERARCHIA
  - Tecnologie diverse possono soddisfare al meglio ciascuno dei requisiti. Una gerarchia cerca di ottimizzare globalmente i parametri.

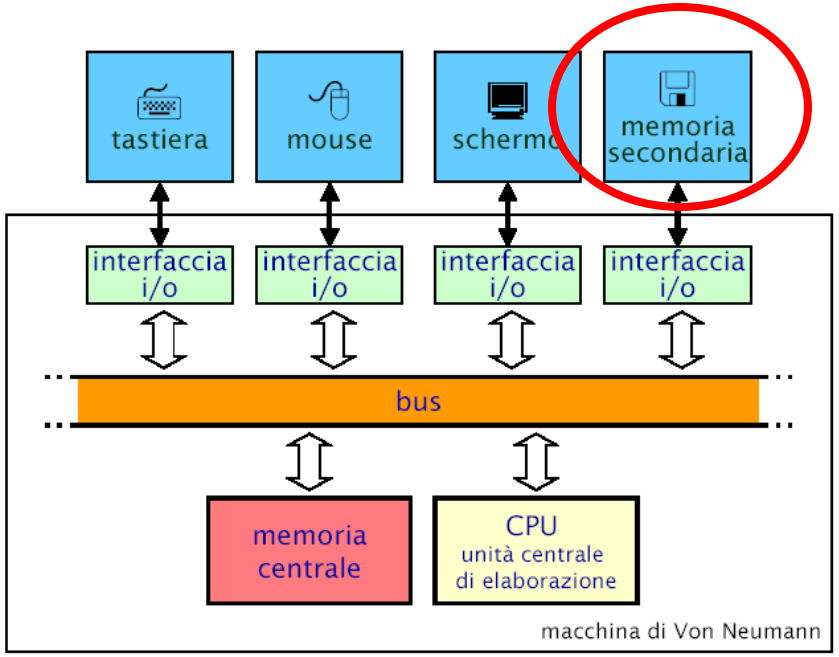
Architettura del Calcolatore



- La gerarchia della memoria fornisce l'illusione di una memoria infinitamente grande e veloce.

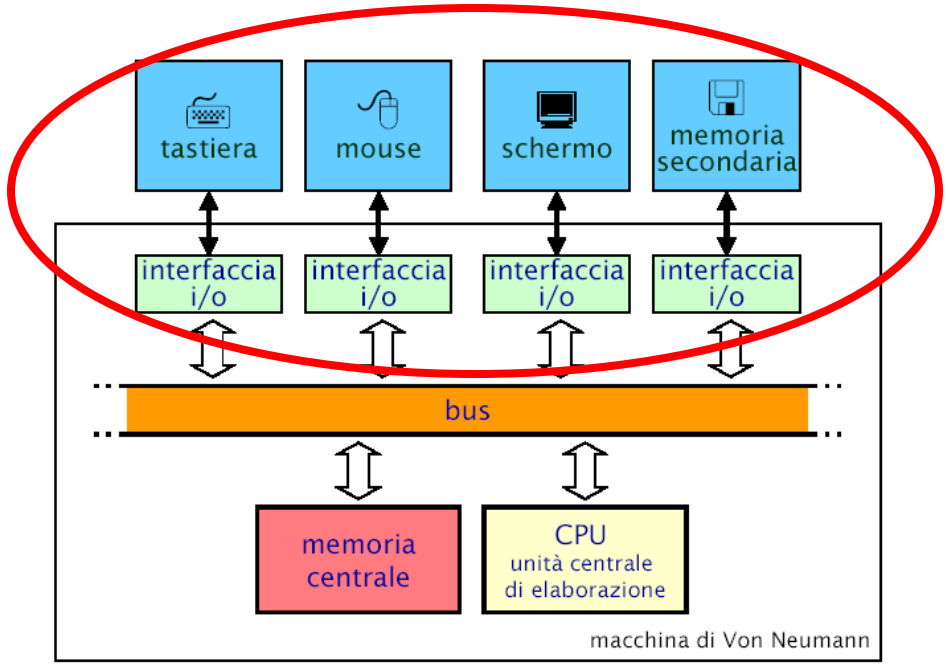
Architettura del Calcolatore

- Memoria secondaria (o di massa)
  - Dischi, nastri, CD, DVD
  - Memorizza grandi quantità di informazioni, ma è lenta: accesso in msec. contro nsec. della RAM – rapporto di 10^6
  - Persistente: Le informazioni non si perdono spegnendo la macchina



Architettura del Calcolatore

- Periferiche
  - Sono usate per far comunicare il calcolatore con l'esterno (in particolare con l'utente)
  - Non fanno parte della Macchina di Von Neumann, ma vi sono connesse attraverso le *interfacce di I/O*



Architettura del Calcolatore

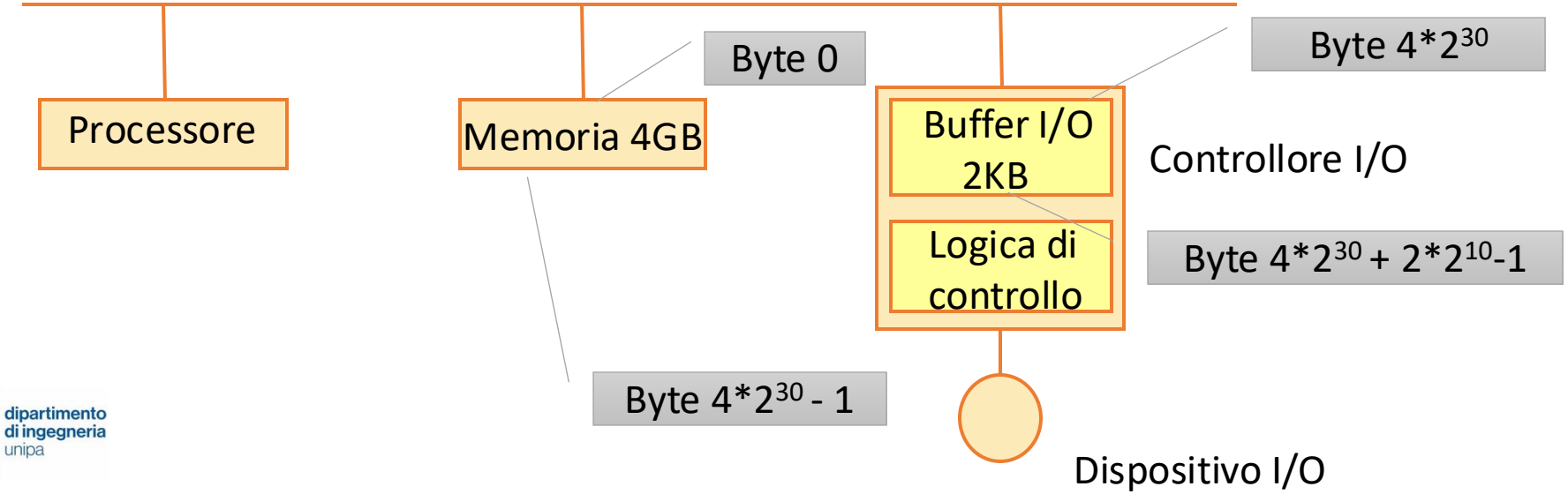
- Le periferiche sono molto più lente del processore e necessitano un modo per adeguare la propria velocità alla CPU

- Ogni periferica è connessa al bus tramite un *buffer* che è una piccola area di memoria RAM

- Il processore riversa i dati nel buffer alla propria velocità che è alta, mentre la periferica li preleva a bassa velocità e viceversa.

Buffer periferiche

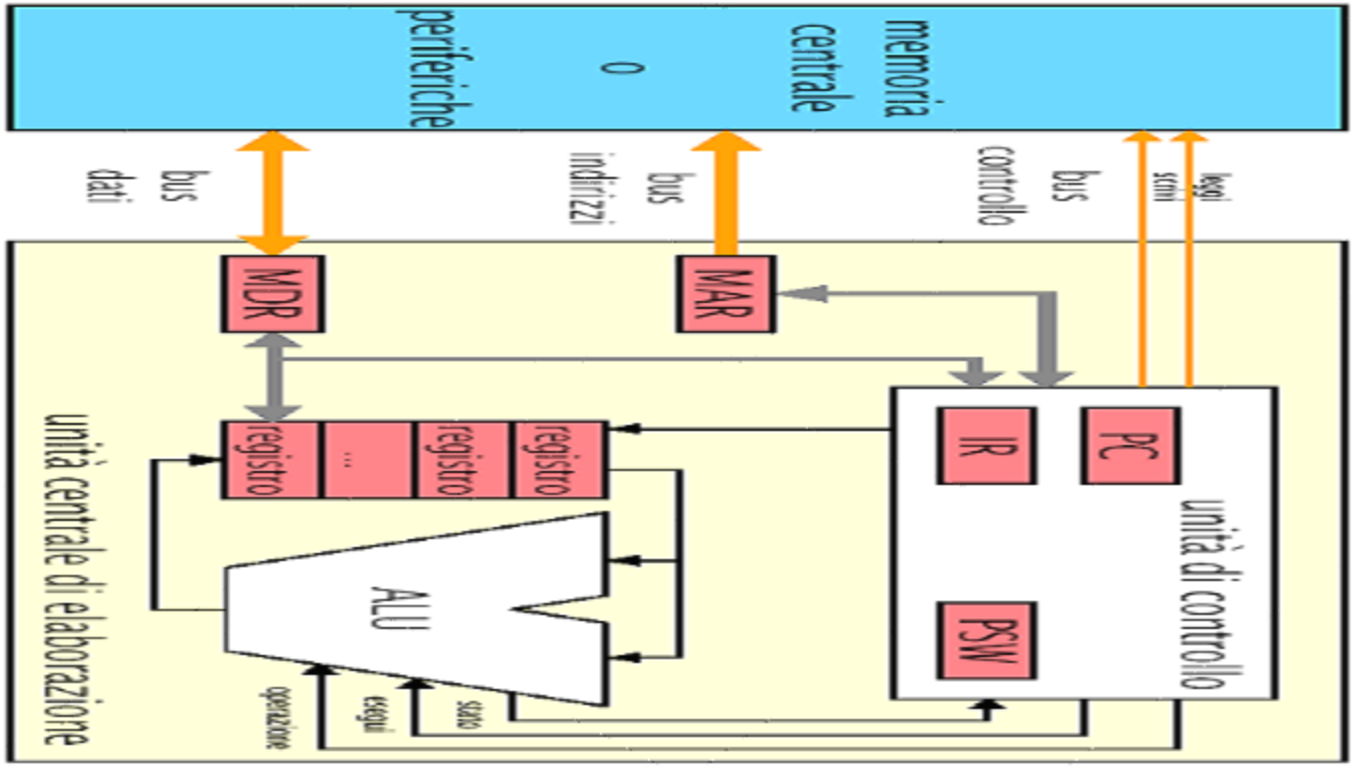
- I buffer delle periferiche sono riferiti attraverso indirizzi di memoria successivi all'ultimo indirizzo RAM
- In genere, lo spazio di indirizzamento è molto più grande della dimensione della RAM ed è quindi possibile connettere molte periferiche



Architettura del Calcolatore

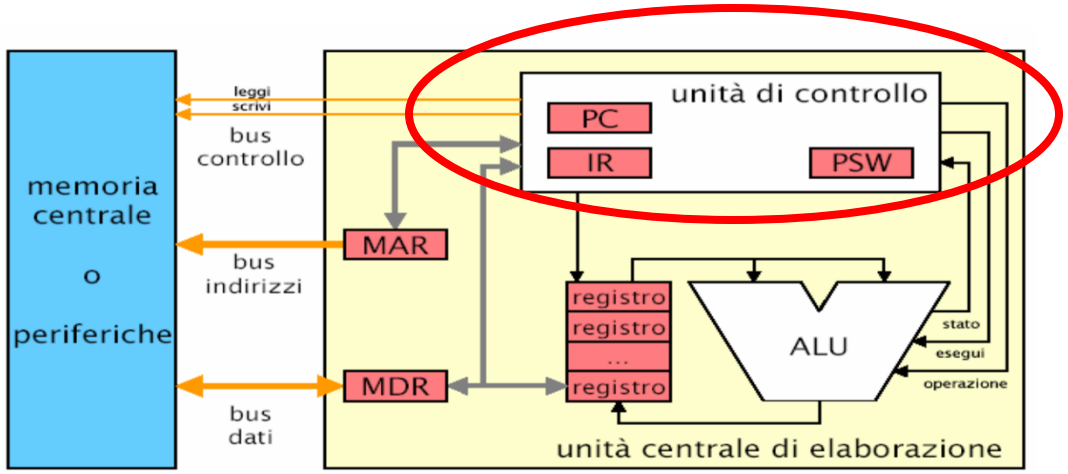
- CPU
  - Unità di controllo
    - Svolge funzioni di controllo, decide quali istruzioni eseguire.
  - Unità aritmetico logica (ALU)
    - esegue le operazioni aritmetico-logiche (+, -, *, /, confronti).
  - Registri
    - memoria ad alta velocità usata per risultati temporanei e informazioni di controllo;
    - il valore massimo memorizzabile in un registro è determinato dalle dimensioni del registro.

Architettura del Calcolatore



Architettura del Calcolatore

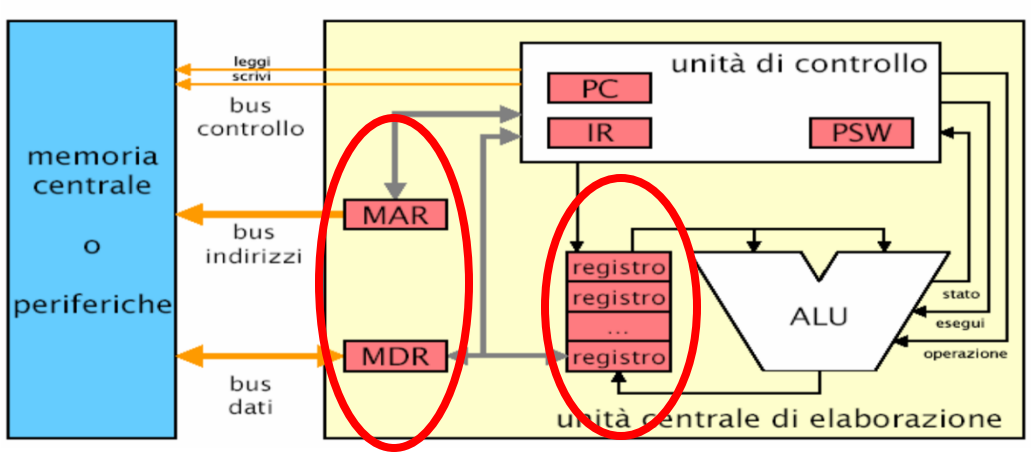
- Esistono registri di uso generico e registri specifici
  - **PC**: contatore delle istruzioni (Program Counter)
    - contiene l'indirizzo della prossima istruzione da eseguire
  - **IR**: registro delle istruzioni (Instruction Register)
    - contiene l'istruzione che deve essere eseguita
  - **PSW**: parola di stato del processore (Processor Status Word)
    - contiene informazioni, opportunamente codificate, sull'esito dell'ultima istruzione che è stata eseguita



Architettura del Calcolatore

- Esistono registri di uso generico e registri specifici
  - **MAR**: registro indirizzi della memoria (Memory Address Register)
    - indirizzo della cella di memoria che deve essere acceduta o memorizzata
  - **MDR**: registro dati della memoria (Memory Data Register)
    - dato che è stato acceduto o che deve essere memorizzato

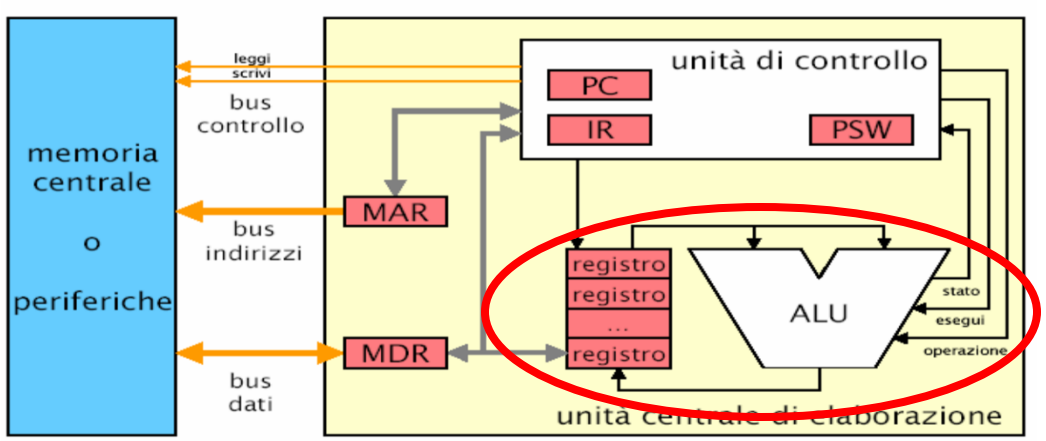
  - Registri generali: memorizzano gli operandi ed il risultato di una operazione



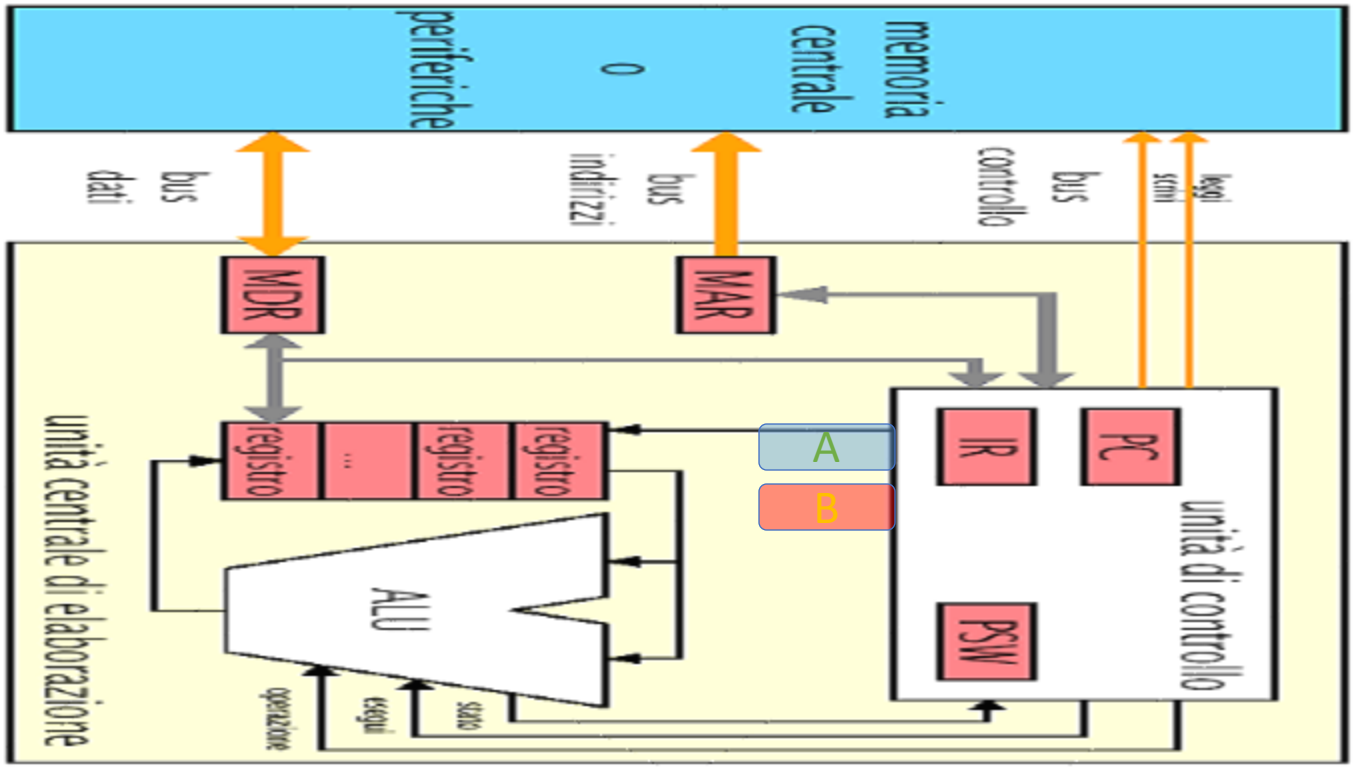
Architettura del Calcolatore

- L'Unità Aritmetico-Logica (ALU) è costituita da un insieme di circuiti in grado di svolgere le operazioni di tipo aritmetico e logico

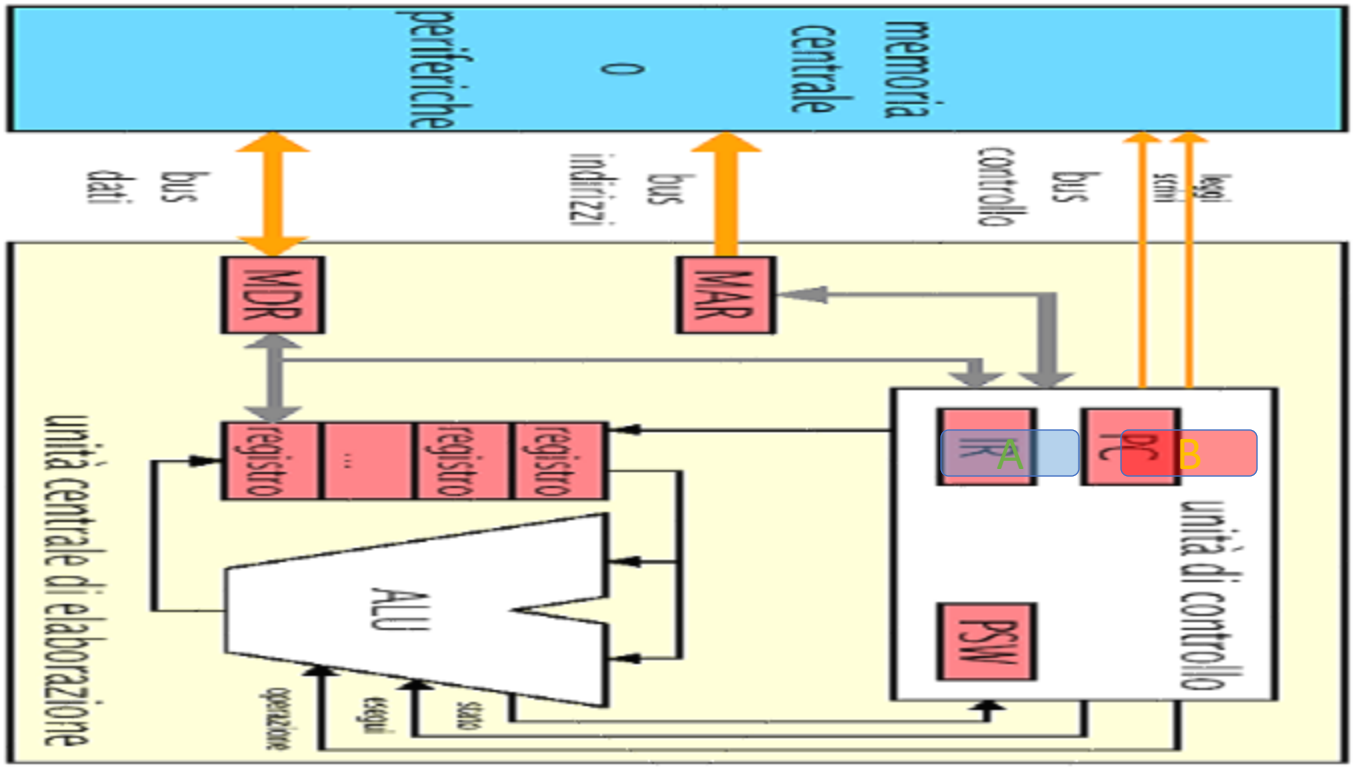
- La ALU legge i valori presenti in alcuni registri, esegue le operazioni e memorizza il risultato in un altro registro



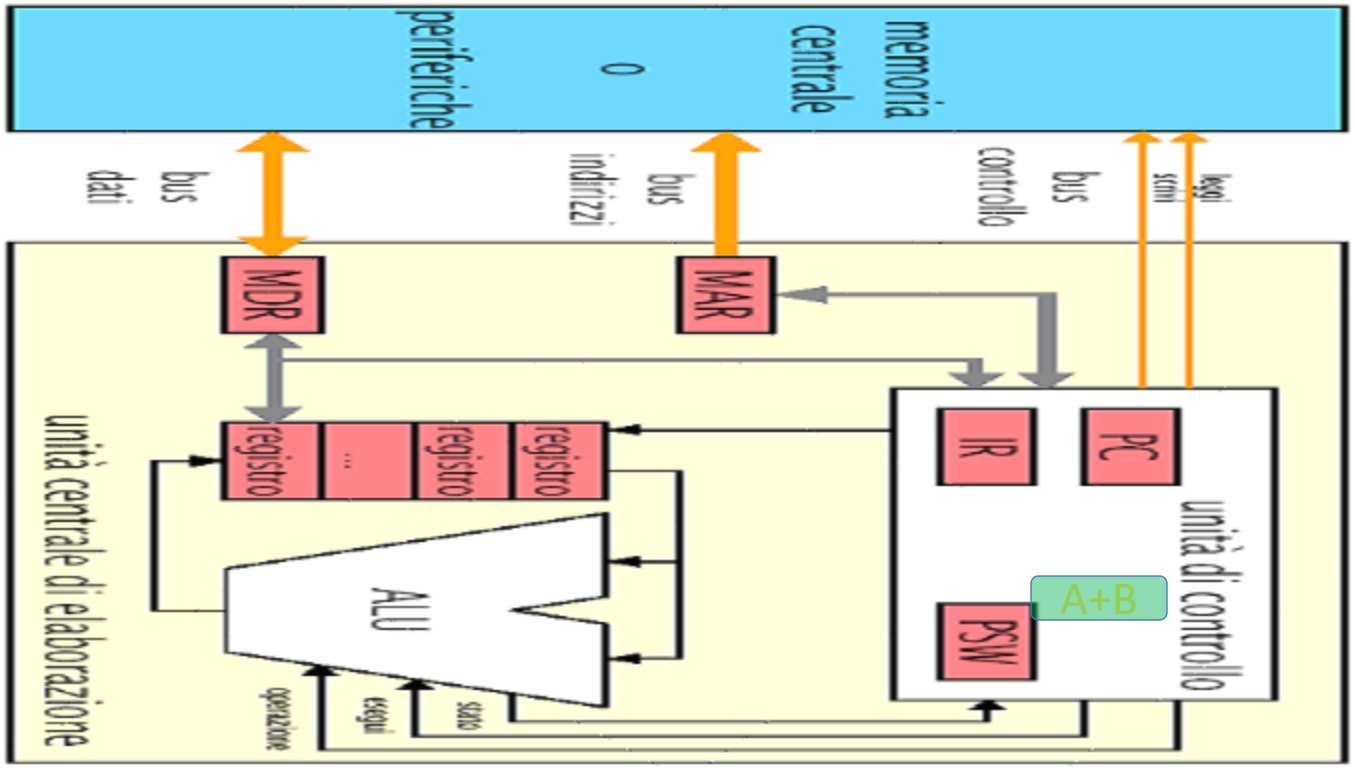
Architettura del Calcolatore



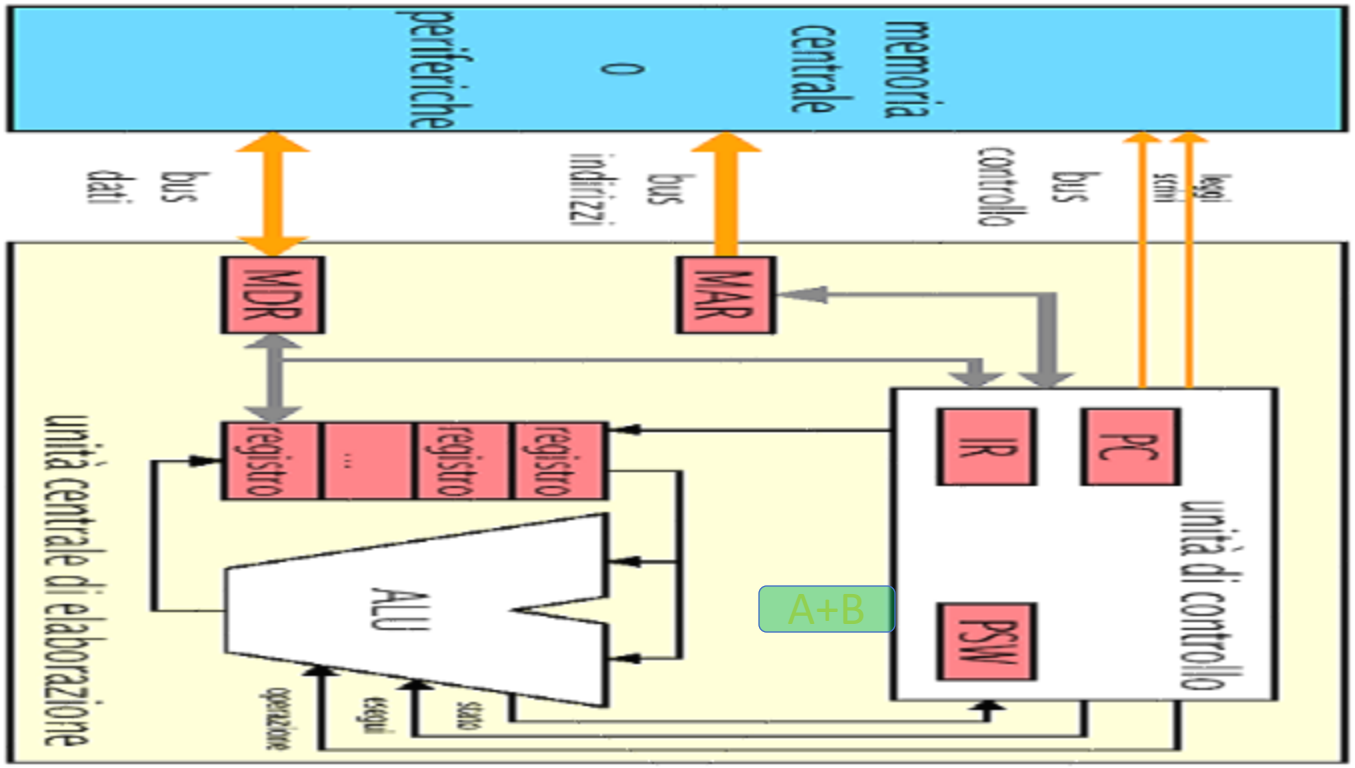
Architettura del Calcolatore



Architettura del Calcolatore



Architettura del Calcolatore

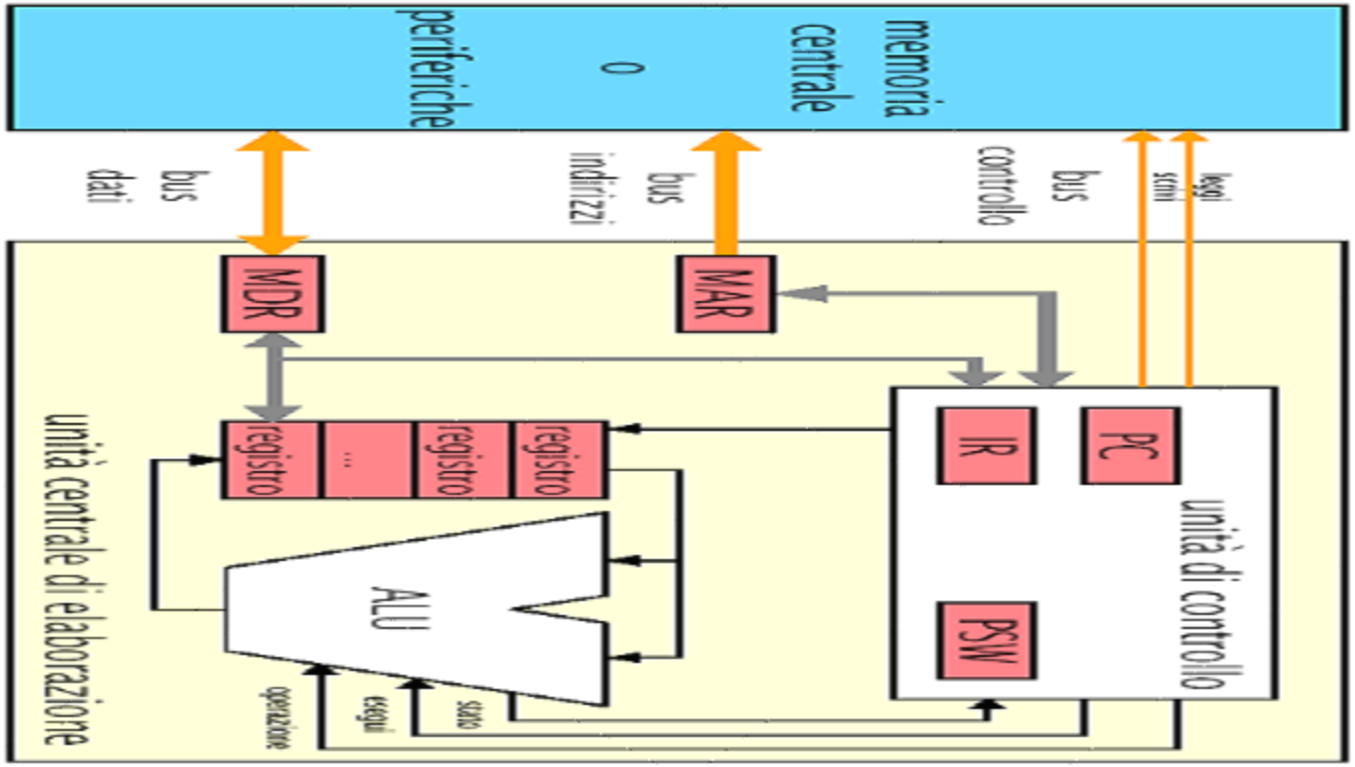


Architettura del Calcolatore

- La CPU esegue un'istruzione mediante le tre seguenti operazioni di base:
  - *Fetch* (lettura)
  - *Decode* (decodifica)
  - *Execute* (esecuzione)

- Un programma è eseguito applicando ad ogni istruzione la sequenza fetch-decode-execute, detta *ciclo di esecuzione dell'istruzione* o *ciclo macchina*

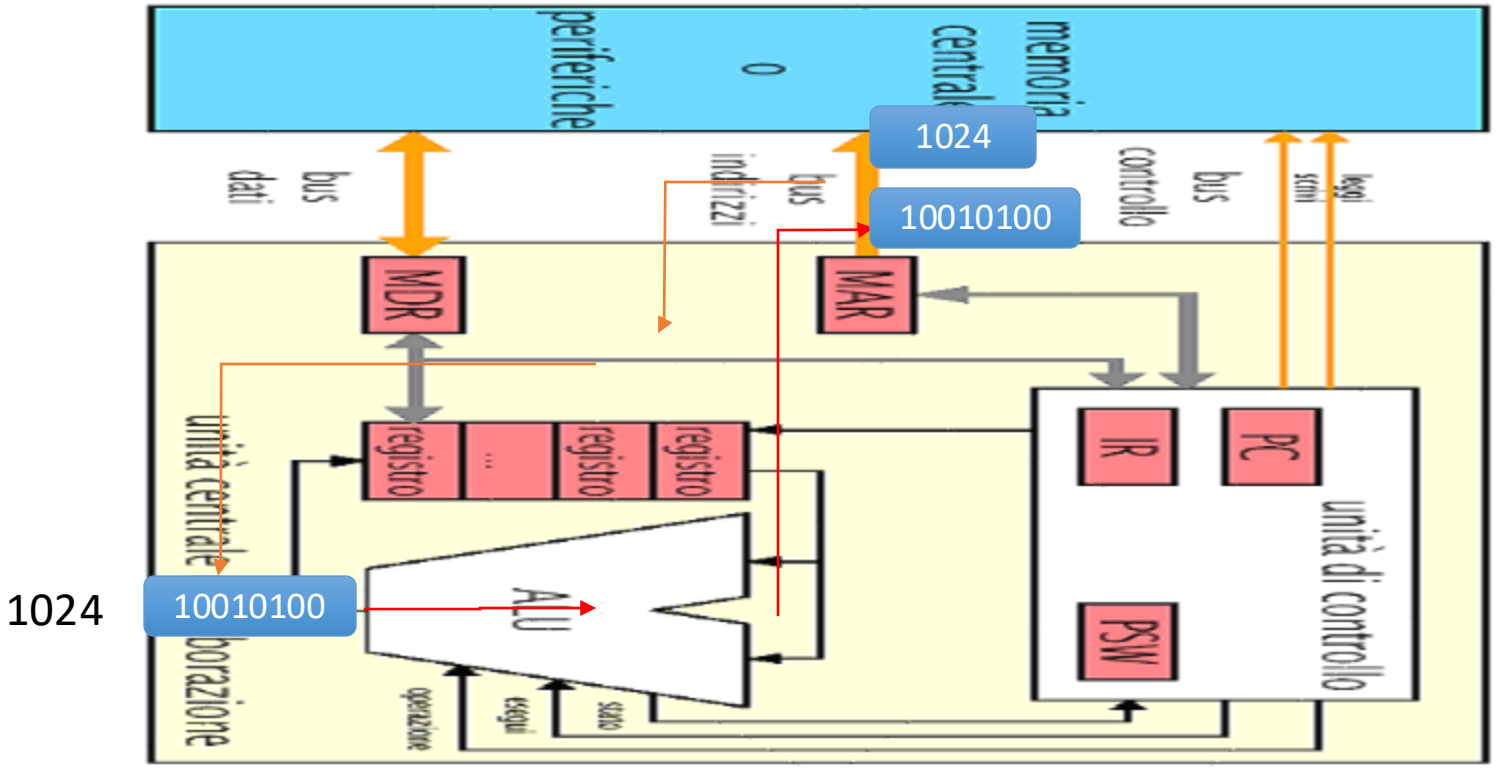
Architettura del Calcolatore



Architettura del Calcolatore

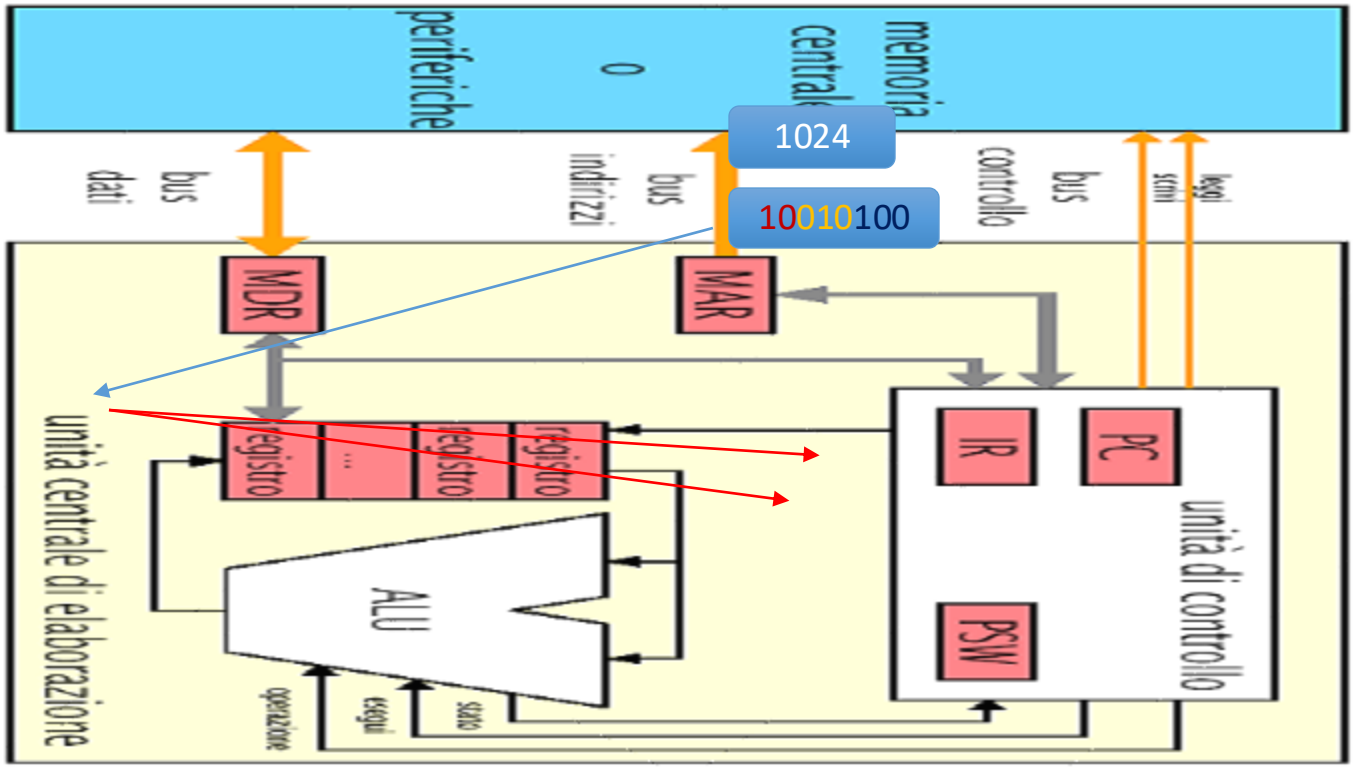
1) *FETCH*:

- si accede alla prossima istruzione, riferita dal registro contatore dell'istruzione (PC)
- si porta tale istruzione dalla memoria centrale al Registro Istruzioni (IR)



Architettura del Calcolatore

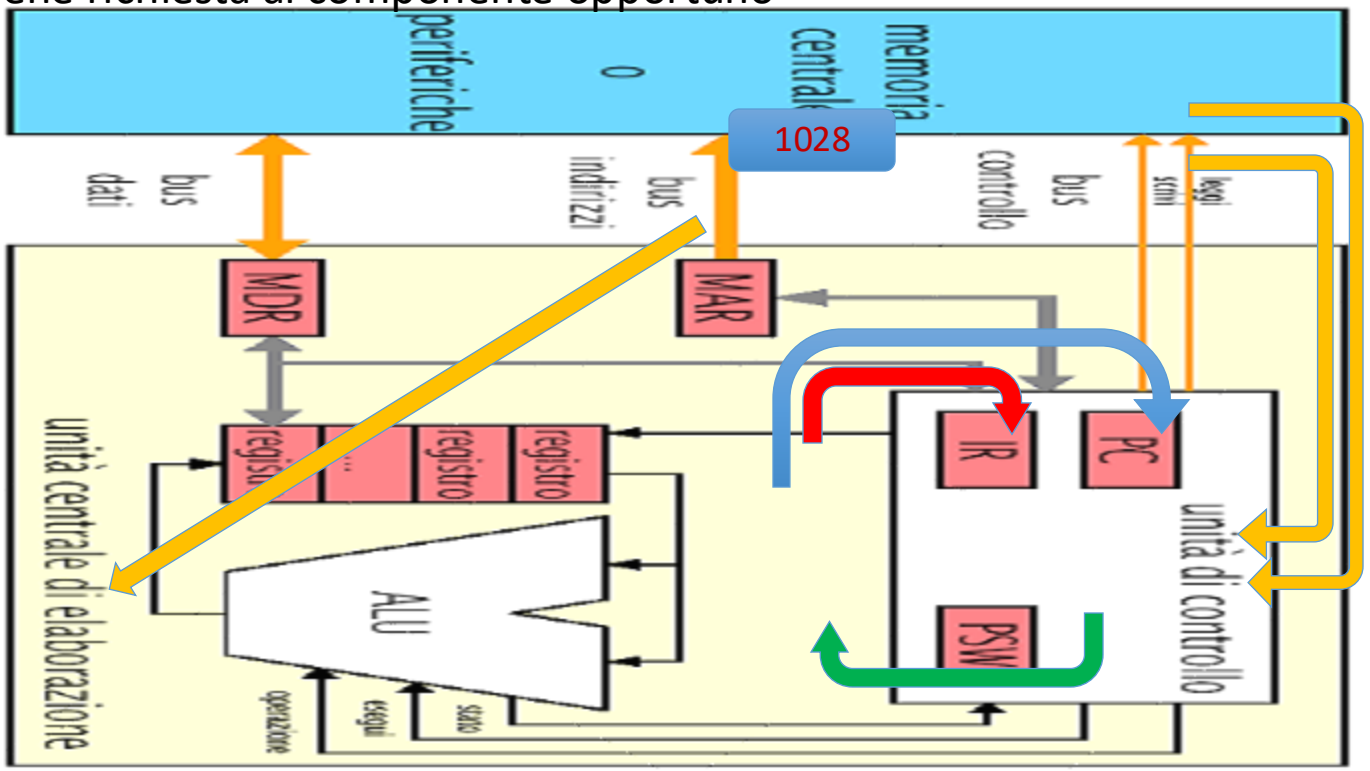
2) *DECODE*: decodifica dell'istruzione
si individua il tipo dell'operazione e gli operandi (dati) usati si trasferiscono i dati nei registri opportuni



Istruzione macchina: COD.OPERATIVOOPERANDO1OPERANDO2

Architettura del Calcolatore

3) *EXECUTE*: esecuzione dell'istruzione
- si incrementa il registro contatore dell'istruzione (PC)
- ciascuna azione viene richiesta al componente opportuno

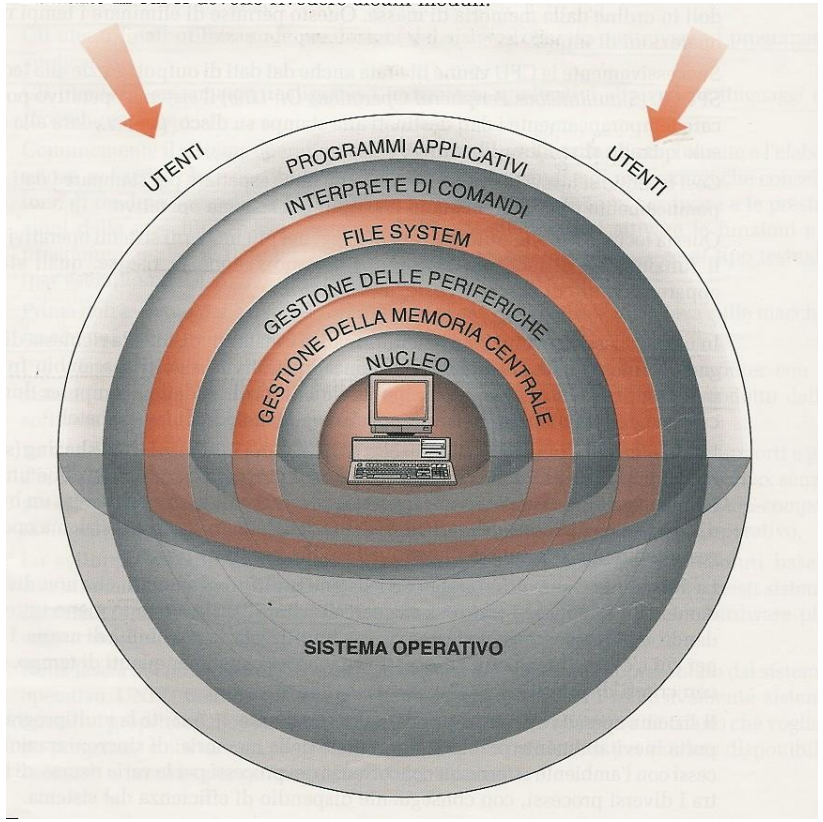


Sistema operativo

- Definizione:
  - Un sistema operativo è un programma che controlla l'esecuzione di programmi applicativi e agisce come interfaccia tra le applicazioni e l'hardware del calcolatore
- Obiettivi
  - Efficienza:
    - Un S.O. cerca di utilizzare in modo efficiente le risorse del calcolatore (*gestore delle risorse*), e quindi memoria, processore, periferiche.
  - Semplicità:
    - Un sistema operativo dovrebbe semplificare all'utente esterno l'uso del hardware di un calcolatore (*macchina astratta*)

Sistema operativo

- Il modello a cipolla rappresenta il sistema operativo come una successione di strati costruiti sopra la macchina hardware.
- Ciascuno degli strati della cipolla rappresenta un livello di macchina virtuale.
- In tutto, *sei* livelli di astrazione separano l'utente dall'hardware sottostante (incluso il livello utente)

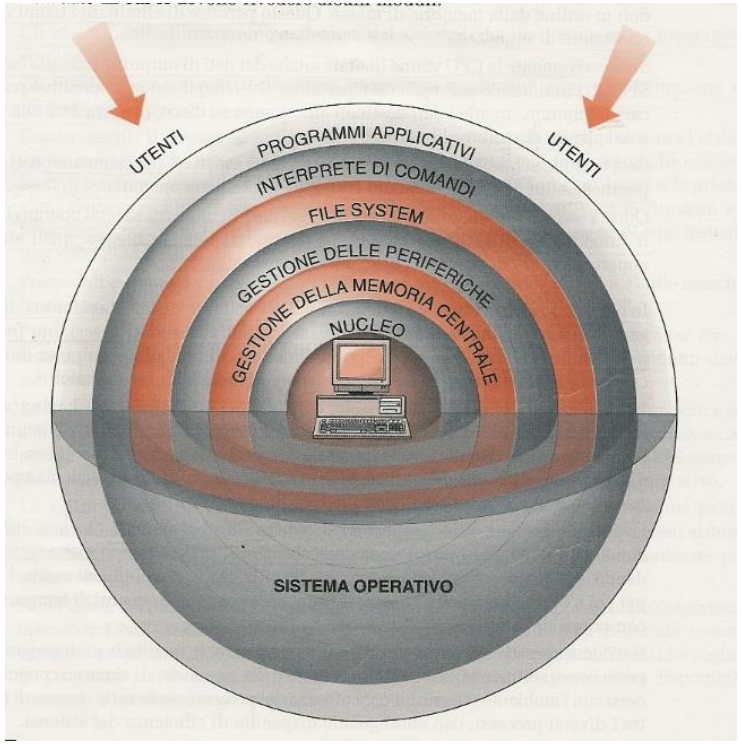


Sistema operativo

- Ogni strato (livello) costituisce una macchina virtuale:
  - Usa *solo* le funzionalità di quello sottostante
  - Fornisce servizi al livello superiore nella gerarchia
  - Gestisce delle risorse mediante politiche invisibili al livello sovrastante (struttura *modulare* del sistema operativo)

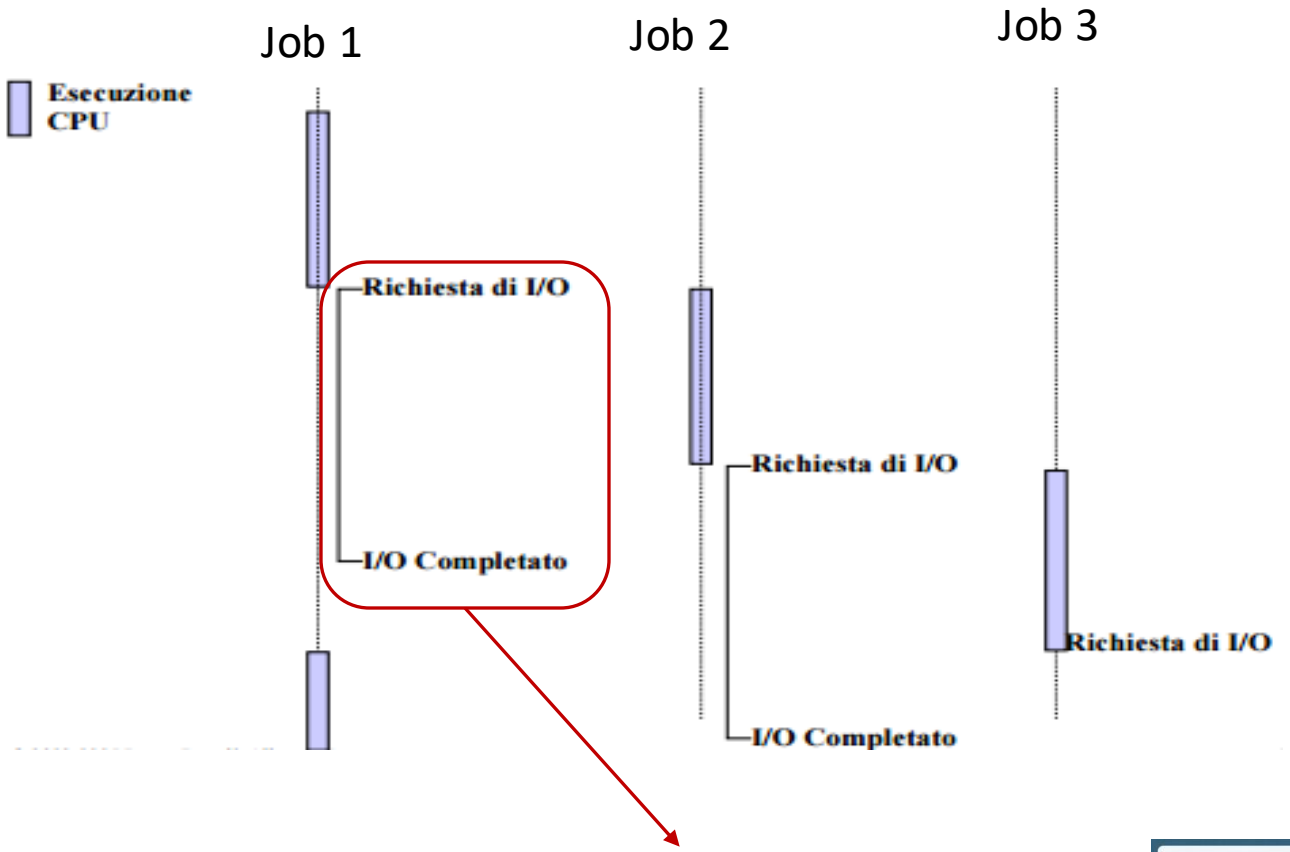
Sistema operativo

- Nucleo (kernel)
  - Gestisce l'elenco con priorità dei programmi pronti per l'esecuzione
  - Seleziona il successivo programma da eseguire



Sistema operativo

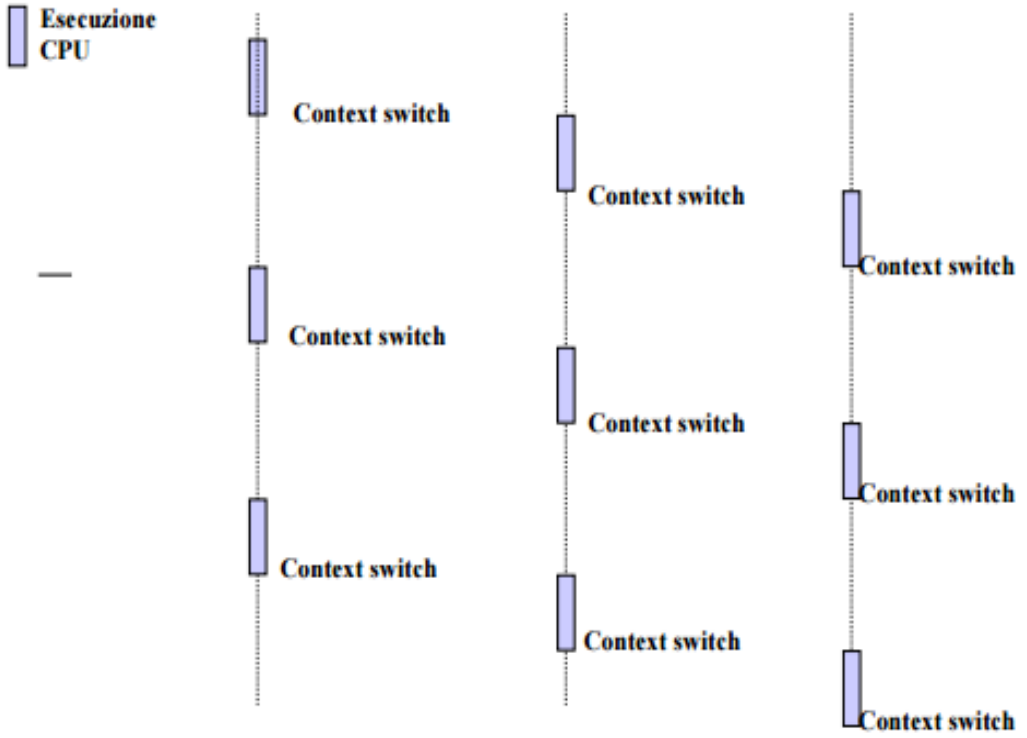
- I lavori (job) detti anche processi, sono gestiti con priorità
- Quando un processo richiede di accedere alle periferiche viene spostato in uno *stato di attesa*
- L'esecuzione passa al processo successivo in ordine di priorità



Sistema operativo

- Con il solo approccio precedente si rischia comunque che uno stesso processo occupi per troppo tempo il processore

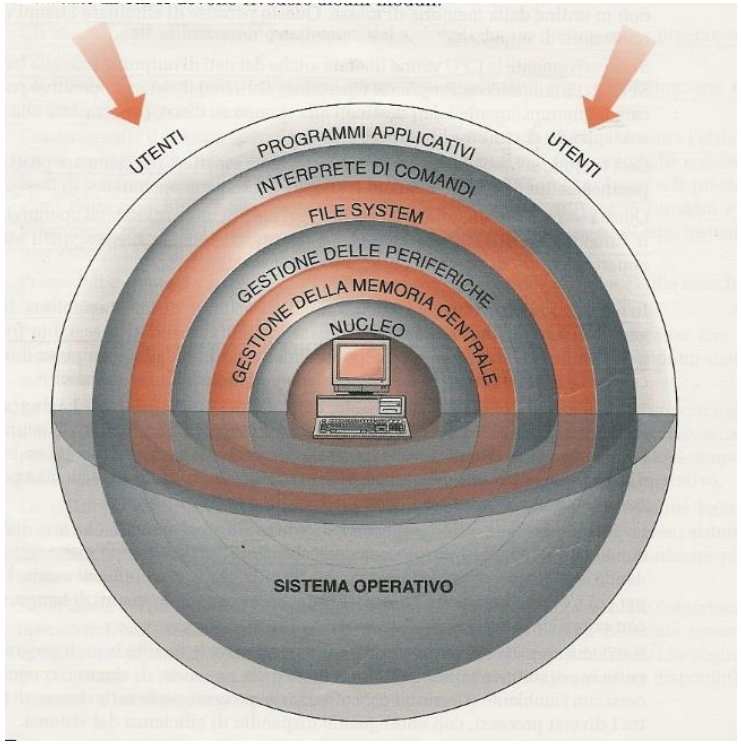
- Il *context switch* assicura una porzione di tempo di esecuzione a turno a tutti i processi



Sistema operativo

- Gestore della memoria
  - Riserva spazio in memoria per dati e programmi
  - Carica in memoria i programmi prima dell'esecuzione

- Gestori delle periferiche
  - Gestiscono la comunicazione con i dispositivi utilizzando Forniscono un'interfaccia software integrata del dispositivo (driver)

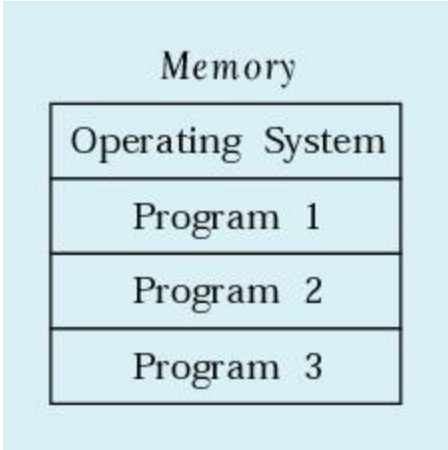


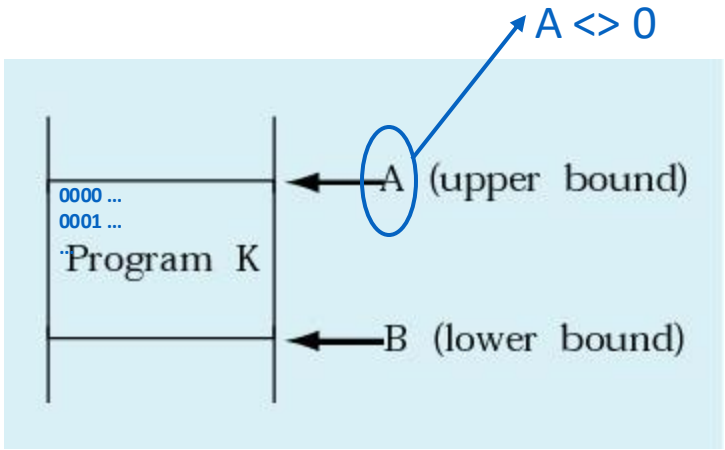
Sistema operativo

- Il Sistema operativo assegna un opportuno spazio di memoria ad ogni programma in esecuzione

- Il processore assume che ogni programma inizi dall'indirizzo 0

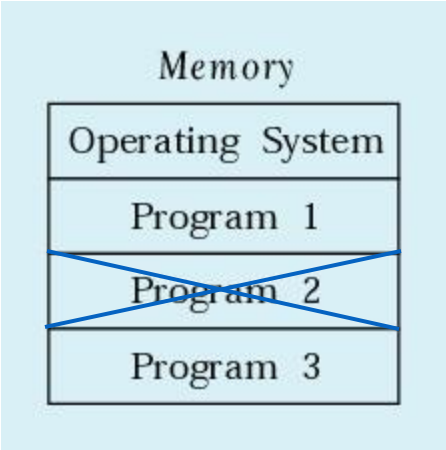
  - *Ma se un programma inizia dall'indirizzo 0 come faccio a garantire di poterlo caricare sempre all'indirizzo 0?*
    - Uso il punto di inizio per caricare correttamente il PC.
    - Codice **rilocabile**

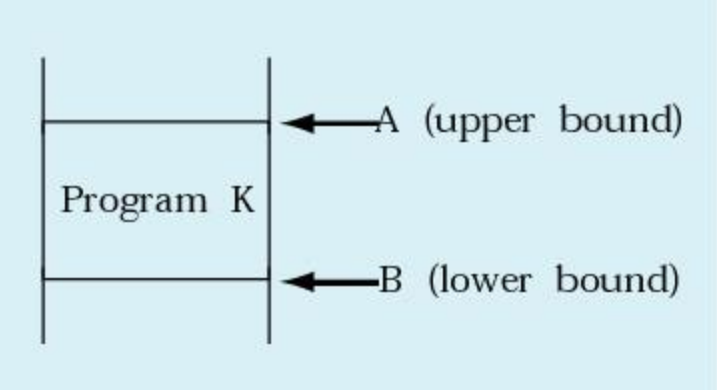




Sistema operativo

- *Che fare quando un programma termina e rilascia la sua porzione di memoria?*
  - Inserire un nuovo programma al posto del vecchio? E se non ci entra?
  - Lasciar perdere?

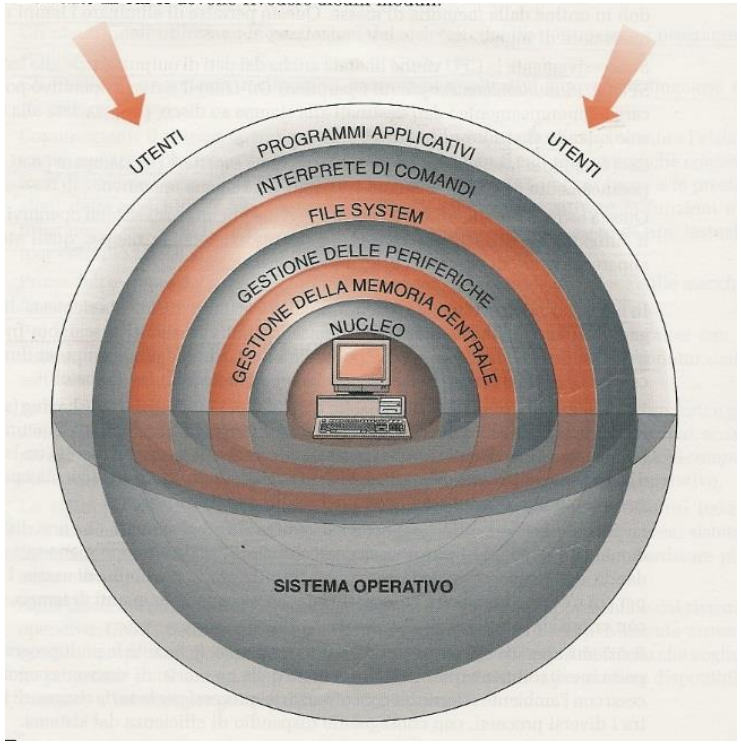




Sistema operativo

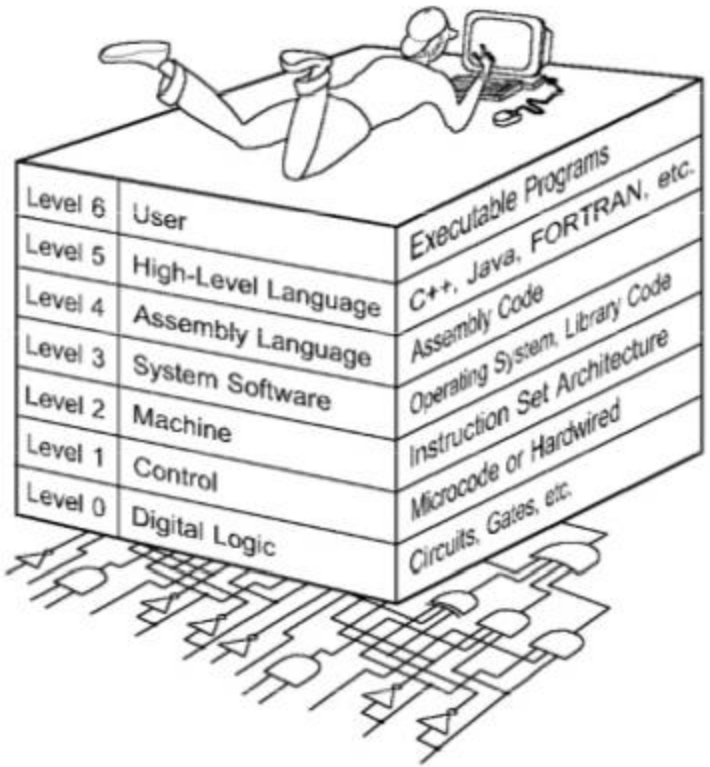
- File system
  - Gestisce la memorizzazione e il recupero di informazioni sui dispositivi di memoria di massa

- Interprete dei comandi
  - Esegue i comandi degli utenti e/o dei programmi applicativi
    - Interfaccia utente
    - Sicurezza negli accessi



Linguaggi di Programmazione

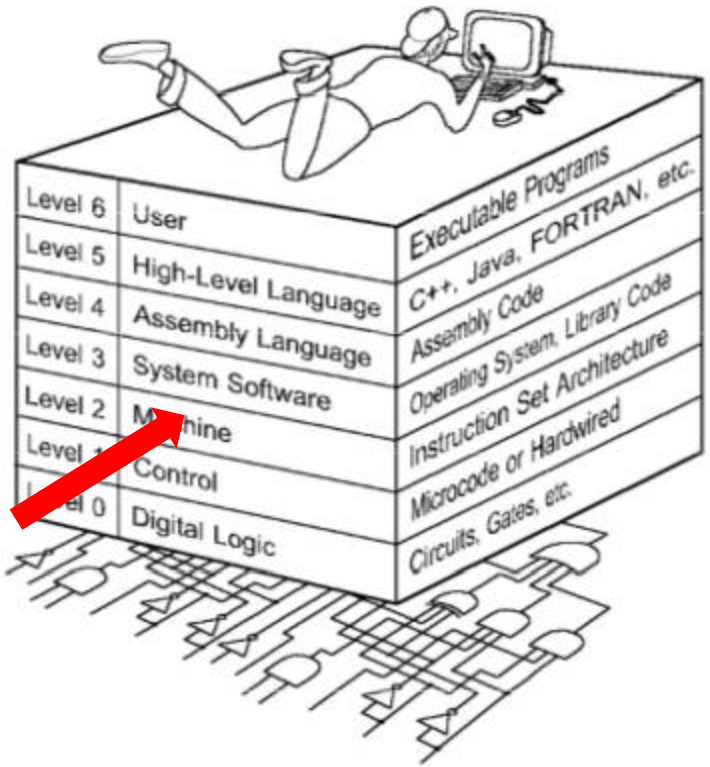
- Sei livelli di astrazione separano l'utente dall'hardware sottostante



- Circuiti digitali
- Logica di controllo
- Macchina hardware
  - ISA – Instruction Set Architecture
- Software di base
  - Sistema operativo
  - librerie
- Linguaggio assemblativo
- **Linguaggi di programmazione**
- Programmi applicativi

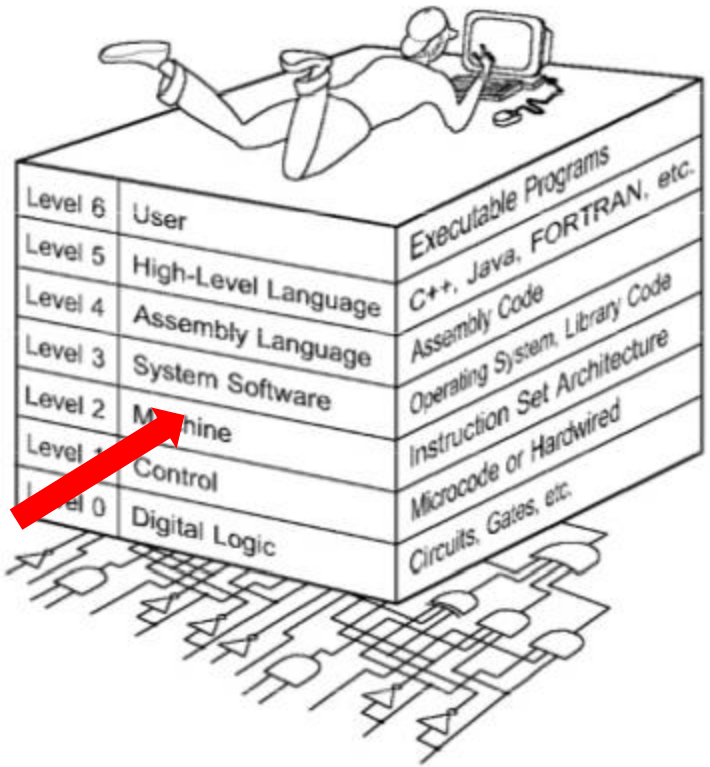
Linguaggi di Programmazione

- Linguaggio macchina
  - Formato binario. Le istruzioni sono indistinguibili dai dati su cui operano
  - Non consente l'uso di etichette o simboli per indicare locazioni di memoria o istruzioni adibite a compiti specifici
  - Difficile da modificare. Gli indirizzi delle istruzioni si susseguono sequenzialmente a partire dalla prima.
  - Difficile creare dati. I dati possono solo essere rappresentati nel loro formato interno



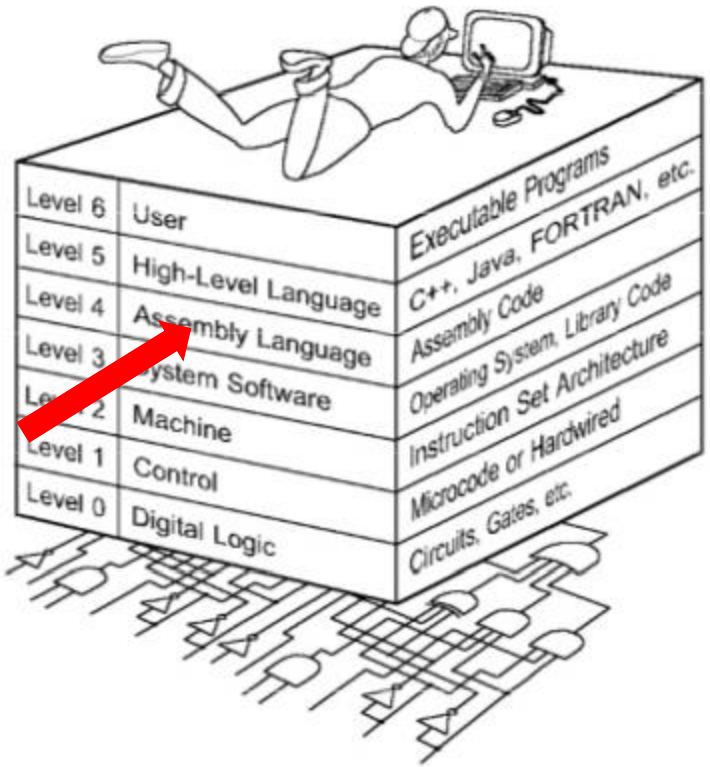
Linguaggi di Programmazione

- Linguaggio macchina
  - I calcolatori della prima generazione potevano essere programmati soltanto in linguaggio macchina!
  - L'insieme delle istruzioni del linguaggio macchina di un processore formano l'Instruction Set Architecture (ISA)
    - Un processore **è** il suo ISA
    - Processori compatibili



Linguaggi di Programmazione

- Linguaggio assemblativo
  - Orientato sia alla macchina che all'utente
  - Le istruzioni sono indicate con etichette comprensibili che vengono tradotte nel codice binario corrispondente da un software *traduttore*
  - Codici mnemonici:
  - ADD – addizione
  - SUB – sottrazione
  - LOAD, STORE – carica da memoria, memorizza in memoria
  - JUMP – salta ad istruzione successiva

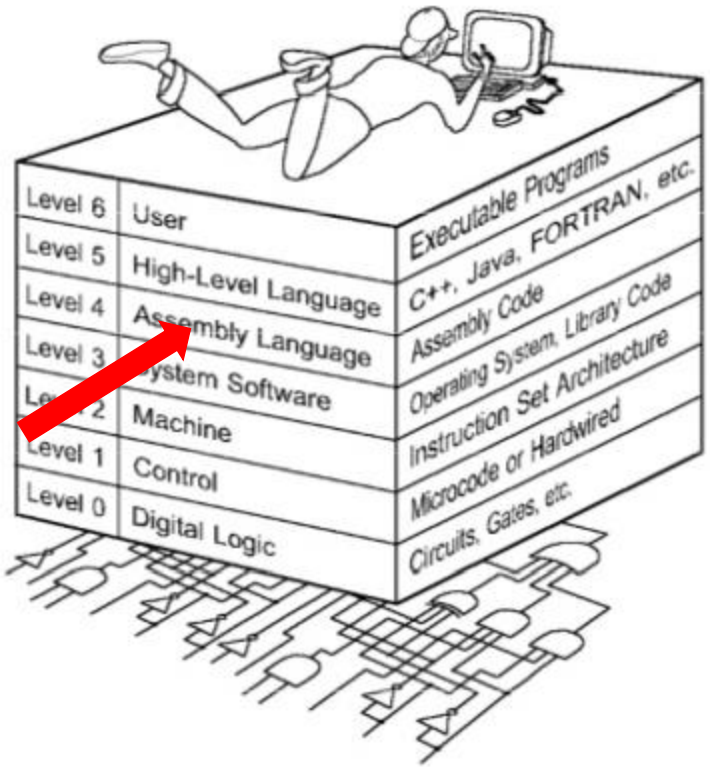


Linguaggi di Programmazione

- Linguaggio assemblativo

- Rapporto 1:1 con il linguaggio macchina

    - Ogni istruzione in linguaggio assemblativo è tradotta esattamente nella sua corrispondente in linguaggio macchina
    - Specifico per una particolare classe di microprocessori



Linguaggi di Programmazione

Il primo indirizzo di un file eseguibile è sempre 0

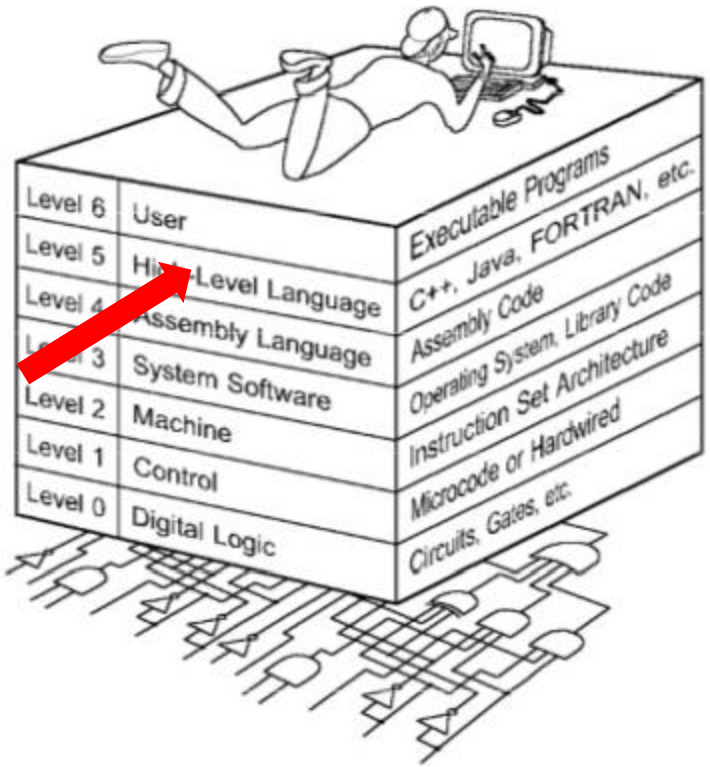
Indirizzo	Opcode data	Significato
0000	1101 000000001001	IN X
0001	1101 000000001010	IN Y
0010	0000 000000001001	LOAD X
0011	0111 000000001010	COMPARE Y
0100	1001 000000000111	JUMPGT DONE
0101	1110 000000001001	OUT X
0110	1000 000000000000	JUMP LOOP
0111	1110 000000001010	OUT Y
1000	1111 000000000000	HALT
1001	0000 000000000000	CONST 0
1010	0000 000000000000	CONST 0

Linguaggio Macchina

Linguaggio Assemblativo

Linguaggi di Programmazione

- Linguaggi di programmazione di alto livello
  - Grazie alla gerarchia del software è possibile scrivere programmi in un linguaggio più vicino all'utente del linguaggio macchina
  - L'utente è ancora un programmatore esperto, profondo conoscitore della macchina e del suo funzionamento
  - Gestione automatica del movimento dei dati
  - Visione macroscopica dell'algoritmo, molto più vicina alla descrizione che potremmo farne parlando

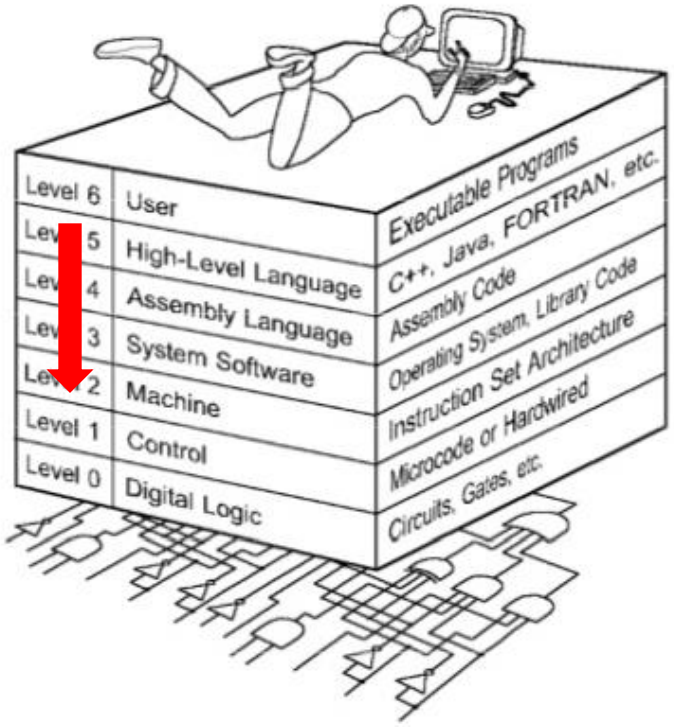


Traduzione dei programmi

- Il programma scritto in linguaggio di alto livello (codice sorgente) dev'essere tradotto in linguaggio macchina da un apposito software detto *traduttore*

```c
#include <stdio.h>
#define CONTA 3 // definisco CONTA con valore 3

int main(void)
{
    float n, media;
    int sum = 0; // calcolo il totale delle temperature
    int i;


    // Supponiamo di poter inserire un massimo di 3 tem
    for (i=0; i<CONTA; i++){
        printf("Inserisci una temperatura: ");
        scanf("%f", &n);
        sum += n;
    }

    media = sum / CONTA;
    printf("\nLa media delle temperature e': %.2f", med


    return 0;
}
```

```
01010001 01110101 01100101 01110011 01110100
00100000 01110110 01101111 01101100 01110100
00100000 01101001 01101100 00100000 01110000
01110011 01110100 00100000 01101100 01101111
01110011 01100011 01110010 01101001 01110110
00100000 01101001 01101110 00100000 01100010
01101110 01100001 01110010 01101001 01101111
00001101 00001010 01000001 00100000 01100010
01101111 01101110 00100000 01100011 01101111
```



Traduzione dei programmi

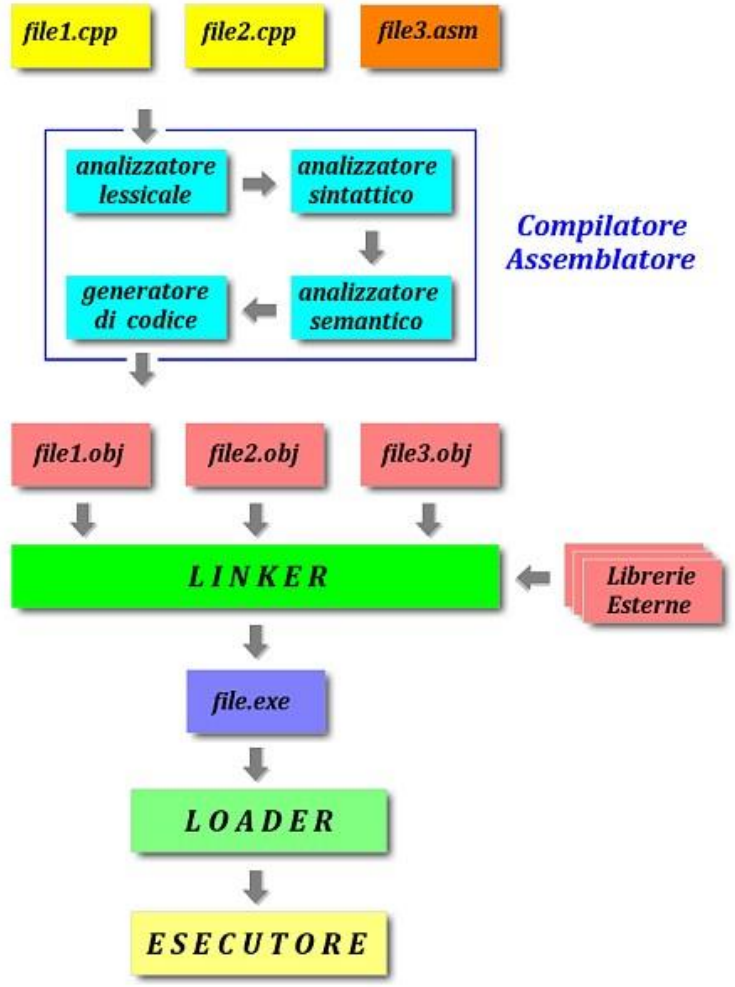
- Compilatori
  - Effettuano la traduzione del programma dal linguaggio di programmazione sorgente al *codice oggetto*
  - Generano un programma eseguibile come file separato
  - Programmi più efficienti.
  - Necessitano una nuova traduzione in caso di errori run-time.
  - C, C++, Java, …

Traduzione dei programmi

- Interpreti
  - Effettuano la traduzione istruzione per istruzione del programma sorgente, generando il codice macchina passo passo, senza creare un programma eseguibile statico.
  - Programmi meno efficienti.
  - Correzione interattiva degli errori.
  - Python, Javascript, PHP …

Traduzione dei programmi

- Compilatore
  - Trasforma il programma sorgente in codice oggetto
  - 4 fasi di lavoro
    - Analisi delle stringhe di testo (token)
    - Analisi della correttezza sintattica delle frasi
    - Analisi della correttezza “semantica” cioè della coerenza rispetto alle altre frasi
    - Generazione del codice binario
  - Include e/o richiama l’assemblatore

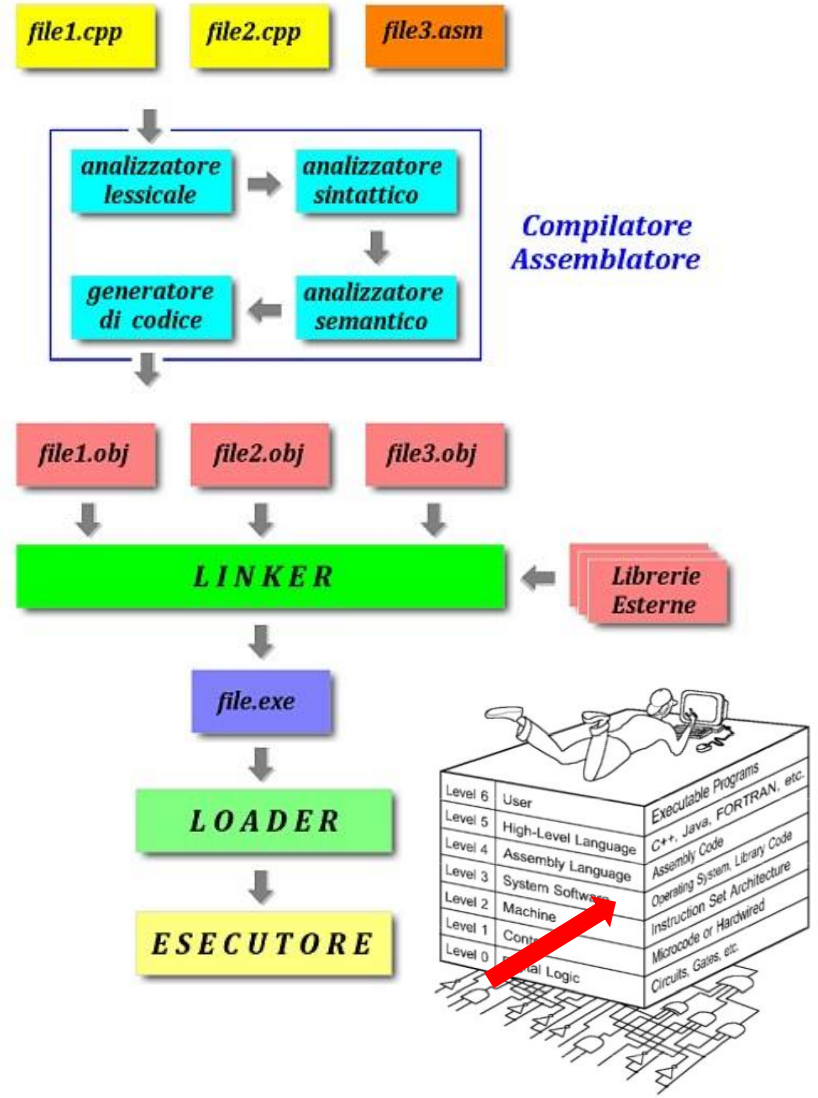


Traduzione dei programmi

- Assemblatore
  - Trasforma direttamente il codice assemblativo in linguaggio macchina

- Linker
  - Collega al codice oggetto del programma altri frammenti di codice oggetto (**librerie**)
  - Le librerie sono i codici di accesso alle funzioni del Sistema Operativo
  - API

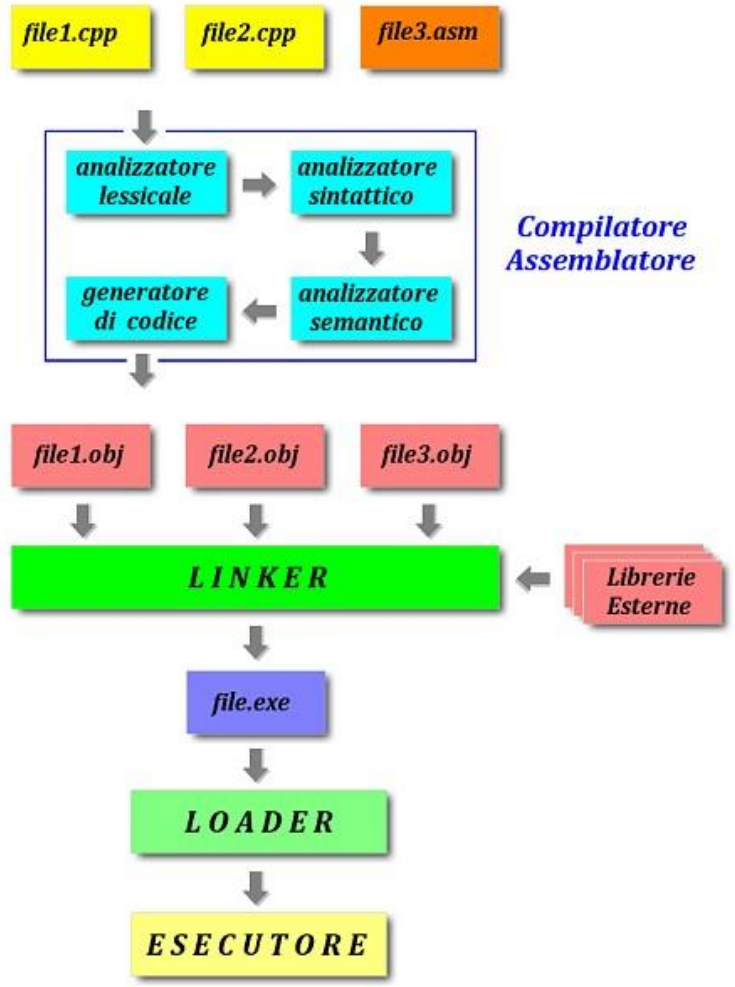
- Le librerie rappresentano il passo di traduzione operato dal livello 3 della gerarchia



Traduzione dei programmi

- Loader
  - *Non è un passo di traduzione*

  - Carica il file eseguibile in memoria centrale per l'esecuzione
    - Rilocazione del codice
    - Gestione della memoria



Traduzione dei programmi

- Le quattro fasi vengono realizzate istruzione per istruzione
- Non c'è il loader perché ogni istruzione tradotta è eseguita direttamente
- Le librerie utilizzate sono le cosiddette ***run-time***
  - Pronte per essere eseguite direttamente e non da collegare ad altri codici oggetto